

साबणाचे फुगे कसे बनतात ?

(सी. व्ही. बॉइस यांच्या 'सोप बबल्स अँड द फोर्सेस विच मेक देम' या पुस्तकाचा अनुवाद)

लेखक

सी. व्ही. बॉइस

प्रस्तावना व स्पष्टिकरण

नरेंद्र सेहगल

सुबोध महंती

अनुवाद

सुधा गोवारीकर



विज्ञान प्रसार

साबणाचे फुगे कसे बनतात ?

प्रकाशक-मुद्रक

विज्ञान प्रसार

अनुवाद सुधा गोवारीकर

© विज्ञान प्रसार

C - 24 इस्टिट्यूशनल एरिया,
नवी दिल्ली - ११००१६

फोन ६८६-४०२२,
६८६-४१५७, ६९६-७५३२

फॅक्स ६९६५९८६

E-Mail : Vigyan @ hub nic in
Internet :

[http // www Vigyanprasar com](http://www.Vigyanprasar.com)

प्रथमावृत्ती

एप्रिल १९९९

किंमत ७० रुपये

मराठी आवृत्तीची निर्मिती व वितरण

मेधा राजहस

उन्मेष प्रकाशन

चंद्रनील अपार्टमेंट,
'सी'-विंग, विठ्ठलवाडी रोड,

पुणे - ४११०३०

टाईपसेटिंग

अक्षर प्रतिभा

चंद्रनील अपार्टमेंट,
सी-विंग, विठ्ठलवाडी रोड,

पुणे - ४११०३०

ISBN 81-7480-042-5

मुखपृष्ठ

धनजय सस्तकर

अनुक्रम

लेखकाविषयी ४

प्रास्ताविक ६

मूळ लेखकाचे प्रास्ताविक १२

व्याख्यान पहिले १४

पूर्वापारचे व आताचे सर्वसाधारण फुगे - केशाकर्षणाचे तत्त्व - चाळणीतून समुद्र-प्रवास का शक्य होईल ? - पाण्याच्या पृष्ठभागावरील आवरणाची वक्रता - पाणी, इथर, बेन्झिन, वगण, कापूर या पदार्थांच्या आवरणामधील फरक - पाण्याचा बॉब किंवा कॅट बॉक्स - पाण्याचे गोलक किंवा पडदे - तेलाचे गोलक, ग्रह - द्रवाच्या आवरणाचे वजन आणि शक्ती

व्याख्यान दुसरे ३९

पाण्याचे कातडे लवचिक का असते ? - लहान फुग्याच्या आतला दाब - फुग्याचे दडगोलासारखे किंवा नळकाड्यासारखे आकार बनवणे - अजिबात वक्रता नसलेले पृष्ठभाग - कॅटेनॉइड आणि नोडॉइड - शकूच्या स्तरच्छेदाच्या गोलाकार फिरण्यास अनुसरून दिसलेली फुग्याची वक्रता - फुगे - कोळ्याने बनवलेले मणी - पाण्याचे फवारे

व्याख्यान तिसरे ६४

वीज आणि फवारे, सीलिंग वॅक्स, धुरकट ज्योत, सगीत - पाण्याच्या झोतातून घड्याळाची टिकटिक किंवा सगीत - वक्रता नसलेले इतर पृष्ठभाग - विद्युतवाहक किंवा वीज वाहून न नेणारे फुगे - एका आत एक असलेले फुगे - बाहेरच्या व आतल्या फुग्यातला फरक - पूर्वीच्या व आताच्या फुग्याचे परिणाम

प्रयोगाकरता सूचना ८७

या पुस्तकातल्या तीनही व्याख्यानात सांगितलेले प्रयोग करण्याकरता करायची तयारी - केशाकर्षणत्व, फुग्याच्या कातडीचा लवचिकपणा, फुग्यातला दाब, कॅटेनॉइड आणि नोडॉइड, पाण्याचे झोत, फुगे व वीज, दुहेरी फुगे - प्रयोग करण्यातला साधेपणा आणि ते करून मिळालेले समाधान

स्पष्टीकरणे ११२

लेखकाविषयी

सर चार्लस व्हर्नॉन बॉइस ह्याचा जन्म १५ मार्च १८५५ या दिवशी झाला त्याचे वडील धर्मोपदेशक होते मालबरो येथे शालेय शिक्षण पूर्ण केल्यावर चार्लस बॉइस पुढील शिक्षणाकरता 'रॉयल स्कूल ऑफ माइन्स' या संस्थेत दाखल झाले तिथे त्यानी खाणकाम आणि धातुशास्त्र (मेटॅलर्जी) या विषयातली पदवी संपादन केली त्यानंतर त्यानी थोडे दिवस कोळशाच्या खाणीत काम केले त्यानंतर ते 'रॉयल स्कूल ऑफ माइन्स' मध्ये पदार्थविज्ञान शिकवू लागले आपला पहिला विज्ञान-निबंध त्यानी १८८० मध्ये प्रसिद्ध केला विशेष नमूद करण्यासारखी गोष्ट म्हणजे त्या निबंधाचा पदार्थविज्ञान किंवा धातुशास्त्र या विषयाशी काही संबंध नव्हता त्या निबंधात त्यानी बागेतल्या कोळयासबधीचा अभ्यास करून आपली निरीक्षणे नोंदवली होती कोळी पूर्वाभ्याने शिकू शकतात किंवा नाही, हे जाणून घ्यायची त्याना उत्सुकता होती कोळयाच्या या अभ्यासात त्याना टी एच हक्सले (१८२५-१९०३) या थोर शास्त्रज्ञाचे प्रोत्साहन मिळाले

बॉइसना उपकरणाशी खेळण्याची आवड होती त्याचा वापर करावा, आपल्या सोयीनुसार त्यात बदल करावेत आणि प्रसंगी आपल्याला हवी असलेली नवी उपकरणे बनवावीत, अशी त्याची पद्धत होती उष्णतेपासून निर्माण होणारे प्रारणाचे सूक्ष्म प्रवाह मोजण्याकरता त्यानी रेडिओ मायक्रोमीटर तयार केला होता क्वार्ट्झचे अति पातळ धागे ते बनवू शकत असत ते इतके पातळ असत की, ते कुठे आहेत, हे शोधणे कठीण होई पण अशाच अदृश्य धाग्याचा उपयोग करूनच त्यानी हेन्री कॅव्हेंडिश याच्या पीछ तोलमापकात (टॉर्शन बॅलन्स) सुधारणा केली त्या सुधारित मापकाच्या साहाय्याने ते 'न्युटोनियन कॉन्स्टंट ऑफ ग्रेव्हिटी' निश्चित करत असत हे त्याचे विज्ञानाला दिलेले महत्त्वाचे योगदान होते तो मापक इतके अचूकपणे

काम करीत असे की, त्यात पुढील ५० वर्षे त्यात सुधारणा करावी लागली नाही त्या काळी हवेतून उडणाऱ्या बदुकीच्या गोळ्याची छायाचित्रे घेण्याचे जे तंत्र होते, त्यातही त्यांनी सुधारणा केली पण इतकेच करून ते थांबले नाहीत तर त्यांनी कडाडणाऱ्या विजेची छायाचित्रे काढण्याकरता एक कॅमेरा तयार केला त्यांनी सूर्य-घड्याळे बनवली वायूमधील उष्णता मोजण्याकरता त्यांनी एक साधन बनवले, त्याच्या साहाय्याने उष्णता मोजण्यात खूपच अचूकपणा आला

^५ बॉइसना अनेक विषयात रस होता आणि गतीही । त्यांना पदार्थ-विज्ञानाच्या प्रत्येक शाखेचा त्यातील बारकाव्यासकट चांगला परिचय होता, तरीही त्याच्या पहिल्या विज्ञान-निबधाचा विषय 'बागेतील कोळी' हा होता त्याचप्रमाणे त्यांनी आपले शेवटचे पुस्तक (बागेतील) 'तण' या विषयावर लिहिले बागकामातील त्याच्या आवडीचाच हा परिणाम होता ह्याशिवाय त्याची विनोदबुद्धी विशेष नमूद करण्यासारखी होती

बॉइसना कित्येक पारितोषके आणि पदके मिळाली ते 'फिजिकल सोसायटी ऑफ लंडन' चे आणि 'रोटजन सोसायटी' चे अध्यक्ष होते रॉयल सोसायटीच्या 'रॉयल मेडल' आणि 'रम्फोर्ड मेडल' ह्या दोन पदकाचे ते मानकरी होते १९३५ साली त्यांना 'सर' हा किताब देण्यात आला ३० मार्च १९४४ रोजी त्याचे देहावसान झाले



प्रास्ताविक

एखाद्या जुन्या पुस्तकाच्या पुनःप्रकाशनाचा विचार केला जातो, तेव्हा अनेक प्रश्न उदभवतात. अगदी, “इतकी वर्षे हे पुस्तक पुनःप्रकाशित का झाले नाही ?” पासून ते थेट “त्यात एवढा काय विशेष आहे ?” असे प्रश्न विचारले जातात. आपली त्या विषयाची जाणीव कशी आहे त्यावर वरच्या प्रश्नाची उत्तरे अवलंबून असतील हे खरे. पण तरी काही पुस्तके इतकी श्रेष्ठ असतात की, त्याच्या बाबतीत असा प्रश्न उदभवतच नाही. असेच एक उत्कृष्ट पुस्तक आमच्यासमोर आहे. त्याचे पुनःप्रकाशन करावे का, या प्रश्नाला आमचे चोखदळ वाचक होकारार्थीच उत्तर देतील, यात काही शका नाही.

दिवसेदिवस पुस्तके म्हणजे व्यक्तिगत समाधानाचे साधन मानले जाऊ लागले आहे. म्हणजे समाधानाची खात्री नसेल, तर कोणी पुस्तके वाचणार नाही. फ्रांसिस बेकन (१५६१-१६२६) ह्याना प्रायोगिक विज्ञानाचे जनक मानले जाते. त्यानी जाहीर केलं होतं की, “या जगातलं सर्व ज्ञान हा मी माझाच प्रातः समजतो.” ते म्हणतात, “वाचनाने माणूस परिपूर्ण होतो, विचार-विनिमय केल्याने तो तयार होतो आणि लिहिल्यामुळे तो अचूक बनतो.” शिवाय त्यानी एक मोलाचा सल्ला दिला आहे - “एखादी गोष्ट वाचताना ती खोडून काढण्याच्या किंवा तिला विरोध करण्याच्या इराद्याने वाचू नका, अथवा वाचलेल्या गोष्टीवर पूर्ण विश्वास टाकून ती गृहीत धरण्याच्या उद्देशानेही वाचू नका, बोलायला काही विषय मिळावा म्हणून वाचन करू नका, तर वाचलेल्या गोष्टीचा तौलनिक विचार करून मगच तिचा स्वीकार करायचा किंवा नाही, ते ठरवा.”

आज बेकनच्या या विचाराकडे कदाचित कोणी लक्ष देणार नाही. कारण एकदा पुस्तक वाचून त्याचा उपयोग झाला की त्यातील मजकुरावर विचार

करण्याच्या भानगडीत पडण्याची कुणाला गरज वाटणार नाही पण प्रत्येक वाचकाचा तसा दृष्टिकोन नसतो आणि प्रत्येक पुस्तकाबाबतीत अस होत नाही हे सुदैवच म्हणायला पाहिजे, नाहीतर मानवी संस्कृतीच्या सुरुवातीपासून तेवत राहिलेली ज्ञानाची ज्योत केव्हाच विझून गेली असती आजही असे वाचक आहेत जे 'तौलनिक विचार करून मग त्याच्याविषयी मत ठरवतात', त्याच्यात व पुस्तकात एक प्रकारचा सवाद साधला जातो इ श्रॉडिंगर याचे 'जीवन काय आहे ?' हे पुस्तक वाचून किती तरी पदार्थ-विज्ञान शिकलेल्या शास्त्रज्ञानी जीवशास्त्राचा अभ्यास करून त्यात आमूलाग्र बदल करण्याचा प्रयत्न केला इ श्रॉडिंगर (१८८७-१९६१) हे क्वांटम मेकॅनिक्सच्या संशोधकांपैकी एक होते तशीच गोष्ट लोकसंख्येवरच्या लेखाबाबतही घडली थॉमस रॉबर्ट माल्थस (१७६६-१८३४) यानी ते लेख लिहिले होते, ते वाचून डार्विनना उत्क्रांतीची कल्पना सुचली त्यातूनच 'ओरिजिन ऑफ स्पेसीज' या एका श्रेष्ठ दर्जाच्या विज्ञान-ग्रंथाची निर्मिती झाली चार्ल्स रॉबर्ट डार्विन (१८०९-१८८२) हे जैविक उत्क्रांतीच्या प्रमेयाचे जनक समजले जातात चार्ल्स लैल (१७९७-१८७५) याचे 'द प्रिंसिपल्स ऑफ जिऑलाजी', आयझॅक न्यूटन (१६४२-१७२७) याची 'प्रिंसिपिया' आणि 'ऑप्टिक्स' अँडम स्मिथ (१७२३-१७९०) याचे 'वेल्थ ऑफ नेशन्स' या पुस्तकांनी विचारवताच्या कित्येक पिढ्यांना स्फूर्ती दिली आहे, आणि माणूस व निसर्ग यांच्याबद्दलच्या आपल्या जाणिवेत मोठाच बदल घडवून आणला आहे एकूण पुस्तकाच्या मानाने या श्रेणीत येणारी पुस्तके फार थोडी आहेत

वाचनाने पुष्कळ वेळा आपल्याला थोर विचारवताच्या मनात डोकावण्याची संधी मिळते आणि ज्ञान किती गुतागुतीच्या प्रक्रियेतून मिळते, हे समजते थोर विचारवताच्या पुस्तकामुळे मानवी ज्ञानाची परंपरा आणि साहित्य जपले जाते, आणि त्याचाच आधार घेऊन आपण आपल्या पूर्वजांच्याही पुढे पाहू शकतो अशा या मौखिक आणि लेखी संपर्क-साधनाने आपली दृष्टी विशाल होतेच, शिवाय आपल्या संभावनालातून आवश्यक ती माहितीही मिळते निरीक्षण करणे आणि अर्थ लावणे, खात्री आणि संदेह, ज्ञान आणि सुज्ञपणा

यामधून होणारे सर्व प्रकारचे सपर्क-साधन हा विज्ञानकार्याचा एक अविभाज्य भाग असतो

दिवसेदिवस परवडण्यासारखी चागली पुस्तके दुर्मिळ होत आहेत अलिकडच्या काळात चागली पुस्तके फारशी निघालेली नाहीत आणि पूर्वीची चागली पुस्तके सहजी मिळत नाहीत आपली चालू शिक्षणपद्धती अशी आहे की, विद्यार्थ्यांना क्रमिक अभ्यासाखेरीज आणखी काही पुस्तके वाचायला उद्युक्त करावे, असे शिक्षकानादेखील वाटत नाही कधी कधी तर शिक्षकाना स्वतःलाच अशा पुस्तकाची ओळख नसते त्याचा परिणाम असा होतो की, जिज्ञासू विद्यार्थ्यांना ती वाचायला मिळत नाहीत उदाहरणार्थ, सलीम अलीचे भारतीय पक्ष्यासंबंधीचे पुस्तक हे प्रत्येक पक्षी निरीक्षकाने वाचायलाच पाहिजे तस पाहिल, तर कोळी, मधमाशा, साप, मासे, इतर प्राणी, खेळणी, चित्रे, विविध लोक आणि त्याच्या सवयी, नद्या आणि पर्वत, वगैरे बहुतेक विषयांवरील पुस्तके आज बाजारात उपलब्ध आहेत काही पुस्तकामुळे आपली सौंदर्यदृष्टी बदलली आहे. तर काहीनी आपल्याला भूतकाळाकडे नव्या दृष्टीने पाहायला शिकवले आहे काही पुस्तकात आपल्याला आपल्या परिसराविषयी वाचायला मिळते, तर काहीत नक्षत्राची माहिती असते. नैसर्गिक शक्ती हे विश्व कसे चालवते हे काहीत विशद केलेले आहे, तर काही अज्ञाताचा शोध घेण्यास आपल्याला उद्युक्त करतात थोडक्यात, परिपूर्ण होण्याकरता आपल्याला अशी सर्व पुस्तके वाचणे भाग आहे

पण एक माणूस किती पुस्तके वाचू शकेल ? बेकननी त्याचेही उत्तर दिले आहे ते म्हणतात, “काही पुस्तके नुसती चाखायची असतात, काही गिळायची असतात, काहीचे चर्विचर्वण करून ती पचवावी लागतात, म्हणजे काही पुस्तकातले थोडे उतारे वाचायचे तर काही वरवर वाचायची, आणि काही थोडी निवडक पुस्तके मात्र काळजीपूर्वक अथपासून इतिपर्यंत वाचायची असतात ”

चांगल्या पुस्तकाची पारख कशावरून ठरवायची ? एखाद्या चांगल्या शिक्षकासारखा चांगल्या पुस्तकाचा उद्देश वाचकाना प्रेरणा देणे, हा असावा

पुस्तकात जे लिहिल असेल त्याच्यापुढे जाऊन वाचाव, नवनवीन उपक्रम चालू करावेत, पुस्तकात विशद केलेल्या विषयाची खोली समजावून घ्यावी आणि त्या विषयाशी एकरूप व्हावे अशी प्रेरणा वाचकाना जे पुस्तक वाचून मिळते ते पुस्तक चागले म्हणता येईल म्हणतात ना की, “शिक्षक शिकवतो, चागला शिक्षक समजावून देतो, उत्तम शिक्षक उदाहरणाने समजावून देतो, पण जो विद्यार्थ्यांना विचार करायला उद्युक्त करतो तो शिक्षक सर्वोत्तम असतो ” हेच तत्त्व पुस्तकाच्या बाबतीतही लागू पडते

माणूस आणि त्याचा परिसर याचा पद्धतशीर अभ्यास म्हणजे विज्ञान होय दररोज आपण कितीतरी गोष्टी घडताना बघत असतो - काही नैसर्गिक, तर काही माणसाने केलेल्या माणसाने जे काही मिळवले आहे, ते सर्व त्याने केलेल्या नैसर्गिक घडामोडीच्या पद्धतशीर अभ्यासावरच उभे आहे किंवा असेही म्हणता येईल की, ते सर्व आपण निसर्गाकडून शिकलो आहोत पण त्यासाठी निसर्गाशी सवाद कसा साधायचा ? त्याच्याशी बोलता तर येत नाही । तसेच आपल्याला जे माहिती असणे आवश्यक असते ते सरळ दिसत नाही, तर ते लपलेले असते सूक्ष्म आणि सातत्याने केलेले निरीक्षण, त्यावरून काढलेले अनुमान यातूनही आपण पुष्कळ काही शिकू शकतो हा, आता सरळ दृष्टीस न पडणाऱ्या घटनाबद्दल मात्र काही प्रश्न विचारावे लागतील उदा - जीवनासाठी आवश्यक हवा आपण श्वासाद्वारे घेत असतो, ती हवा एक मूल स्वरूपाचा पदार्थ आहे की अनेक पदार्थांचे मिश्रण आहे ? जर ते मिश्रण असेल, तर त्यातला कोणता पदार्थ आपल्या जीवनाला उपयोगी असतो ? अर्थात असे प्रश्न विचारल्यास उत्तर मिळणार नाही त्याकरता आपल्याला प्रयोग करावे लागणार त्यातूनही आपल्याला अचूक उत्तर मिळेलच असे नाही आपल्याला अचूक उत्तर मिळेल असे प्रयोग करावे लागतील योग्य उत्तर हे तुमच्या प्रयोगाच्या स्वरूपावर अवलंबून राहील

प्रयोग म्हटले की, विशेष उपकरणे व साहित्य यांनी भरलेली प्रयोगशाळा आणि वैज्ञानिक म्हणवून घेणाऱ्या व्यक्ती आपल्या डोळ्यासमोर उभ्या राहतात खर तर नेहमी असच असण्याची गरज नसते विज्ञानामध्ये विशेष

तालीम मिळाली नसली, तरी आपण प्रयोग करू शकतो, निसर्गातून उत्तरे मिळवू शकतो अशा साध्या प्रयोगाच्या खटपटीत असलेला एखादा मायकेल फॅरडे आजही आपल्याला गवसेल, कुणी सागाव ? रबरी नळी, नळाची चावी, नळ्या, स्पिरिटचा दिवा अशा प्राथमिक स्वरूपाच्या उपकरणांनीही प्रयोग करता येतात आपले उत्तर मिळवण्यासाठी कोणता प्रयोग करावा हे मात्र त्या माणसाच्या कल्पकतेवर ठरेल.

ज्या श्रेष्ठ वैज्ञानिकाच्या कामाने विज्ञान-तंत्रज्ञानाचा पाया घातला ते वैज्ञानिक साधी उपकरणे वापरूनच आपले प्रयोग करत असत फॅरडेनी तसेच केले एक बाटली आणि लाकडाचे तुकडे घेऊन त्यानी विद्युत जनरेटर बनवला होता त्या जनरेटरचा उपयोग करूनच त्यानी विजेसंबंधीच्या काही घटना तपासल्या सुदैवाची गोष्ट अशी होती की, सुरुवातीच्या काळातल्या त्या श्रेष्ठ वैज्ञानिकानी आपले अनुभव इतरांना सांगितले त्यानी दिलेली व्याख्याने कालांतराने छापली गेली काहीनी पुस्तके लिहिली त्यातली काही पुस्तके आजही पुन पुन्हा वाचली जातात ज्यांना स्वतःला विज्ञान मुळातून समजून घ्यायचे आहे किंवा दुसऱ्यांना समजावून द्यायचे आहे, त्यांना ही पुस्तके फार मौल्यवान वाटतात

सी व्ही बॉइस याचे 'साबणाचे फुगे कसे बनतात ?' हे विज्ञान-लेखनातील एक श्रेष्ठ पुस्तक आहे ते तीन व्याख्यानाचे एकत्रीकरण आहे ३० डिसेंबर १८८९ आणि १ व ३ जानेवारी १८९० या दिवशी लंडन इन्स्टिट्यूट येथे तरुण मुलाकरता त्यानी ही व्याख्याने दिली होती 'द सोसायटी फॉर प्रमोटिंग ख्रिश्चन नॉलेज' या लंडन येथील संस्थेने ही व्याख्याने पुस्तकरूपाने प्रथम १९०२ मध्ये छापली आणि १९१६ मध्ये त्याची सुधारित आवृत्ती काढली

वेगवेगळ्या आकाराचे छोटे-मोठे साबणाचे फुगे कसे बनवता येतील हे दाखवून देत असताना बॉइस विज्ञानातील किती तरी प्रश्नांना हात घालतात आपला मुद्दा पटवून देण्याकरता ते लहान मुलाच्या गीतापासून ते अगदी

बायबलपर्यंत सर्व साहित्यातले दाखले देतात एवढे विविध दाखले देत असले तरी त्याचा एक निश्चित उद्देश होता - **माणूस आणि त्याचा सभोवताल यांच्या अभ्यासात विज्ञानाचे स्थान काय हे स्पष्ट करणे**. जे विज्ञान शिकले नाहीत अशासकट सर्व वाचकाना हे पुस्तक प्रेरक ठरेल यात शका नाही

नरेद्र सेहगल

सुबोध महती



मूळ लेखकाचे प्रास्ताविक

या पुस्तकाचे जे वाचक प्रगल्भ असतील, त्यांना ह्या पुस्तकात काही मुद्दे स्पष्ट केलेले नाहीत म्हणून ते अपूर्ण आहे असे वाटेल, किंवा त्यात अगदी प्राथमिक आणि सर्वाना माहीत असलेले मुद्देच स्पष्ट केले आहेत, असे वाटेल त्यांना माझी विनंती आहे की, ही व्याख्याने शाळेत जाणाऱ्या मुलाकरता आणि केवळ त्याच्याच करता लिहिलेली आहेत, हे लक्षात ठेवावे ह्यात सांगितलेले प्रयोग मुलानी पुन पुन्हा करून पहावेत, असा मी त्यांना आग्रह करेन ते प्रयोग वाचून त्याच्या अस लक्षात येईल की, यातल्या बऱ्याचशा प्रयोगाकरता रबरी नळी, काचा अशासारख्या साध्या सामुग्रीखेरीज आणखी काही लागत नाही पहिल्यादा कदाचित प्रयोगात अपयश येईल, पण त्यामुळे निराश न होता नेटाने प्रयत्न चालू ठेवल्यास त्यांना फायदा होईल आणि मग त्यांना कळून येईल की, पहिल्यादा सहजपणे यशस्वी झालेल्या प्रयोगापेक्षा थोडी खटपट करून मग यशस्वी झालेले प्रयोगच अधिक श्रेयस्कर ठरतात यातले काही प्रयोग इतके सोपे आहेत, की ते कुणाच्या मदतीशिवाय मुलाना करता येतील काही प्रयोग मात्र मदत घेऊनही अवघड वाटतील मी सांगितलेले प्रयोग ज्यांना स्वतःला करून पहायचे आहेत त्याच्यासाठी मी काही सूचना या पुस्तकाच्या शेवटी दिल्या आहेत मुलाना त्याचा पुष्कळ उपयोग तर होईलच, शिवाय प्रोत्साहनही मिळेल

या पुस्तकात मी अनेक श्रेष्ठ शास्त्रज्ञानी लिहून ठेवलेल्या साहित्याचा सढळ हाताने उपयोग केला आहे, उदा साव्हार, प्लेटो, क्लार्क मॅक्सवेल, सर विल्यम थॉमसन, लॉर्ड रेली, चिचेस्टर बेल, प्रा रकर इत्यादी पुष्कळसे प्रयोग त्यांनी वर्णन केलेले आहेत इतर काही मी निरनिराळ्या मासिकातून

घेतले आहेत तर काही मी स्वतः रचलेले आहेत प्रा रकर यानी आपल्या व्याख्यानाकरता तयार केलेली उपकरणे मला वापरू दिली याबद्दल मी त्याचा ऋणी आहे

- सी.व्ही.बॉइस

व्याख्यान पहिले

इथे जमलेल्या प्रत्येकाने केव्हा ना केव्हा साबणाचे फुगे करून बघितले असतीलच त्या फुग्याच्या मोहक रगरूपाचे कौतुक करत असताना 'इतकी विलक्षण वस्तू किती सहज बनवता येते' अस तुम्हाला केव्हातरी वाटल असणार

साबणाच्या फुग्याशी खेळण्याचा तुम्हाला कटाळा आलेला नाही ना ? कारण आपण कल्पना करतो त्याहून बरच काही या साध्या फुग्यात आहे हे आपण त्या फुग्याशी खेळूनच या आठवड्यात शिकणार आहोत

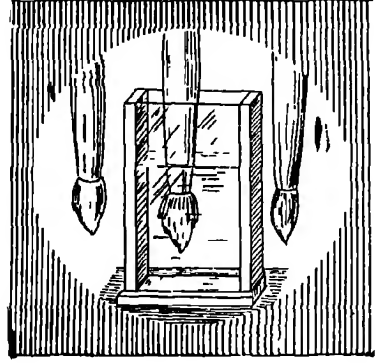
मिलेस^१ या कलाकाराने साबणाच्या फुग्याचे अतिशय सुंदर चित्र काढले आहे आधुनिक जाहिरातीच्या कलेमुळे ते चित्र छापलेही गेले आहे ते तुमच्यापैकी कुणी पाहिले असेल तर त्या चित्राची तुमच्या मनावर पडलेली मोहिनी माझी व्याख्याने ऐकून नाहीशी होणार नाही, उलट त्याच्याबद्दल जस तुम्हाला ज्ञान मिळेल, तशी ती (मोहिनी) वाढेल अशी मी आशा करतो आणि बर का, साबणाचे फुगे बनवून तुम्हीच फक्त खेळता अस समजू नका प्राचीन काळातही मुल साबणाचे फुगे बनवून खेळत असत ह्या गोष्टीचा कोणत्याही ग्रंथात उल्लेख नसला तरी पॅरिसमधल्या लूव्र^२ या वस्तुसंग्रहालयात एक पुरातन एट्रुस्कन^३ फुलदाणी आहे तिच्यावर मुल साबणाचे फुगे करून खेळत असल्याच चित्र आहे हा, आता ती मुल कोणता साबण वापरत होती हे कळून घेण्याचा मात्र एकही उपाय आज आपल्याकडे नाही मी 'साबणाचे फुगे' हाच विषय का निवडला असेल ? त्यापेक्षा कितीतरी चांगले, सुरस विषय आहेत, अस कुणाला वाटेल पण आपल्या रोजच्या जीवनात दिसतात अशा वस्तूशी प्रत्यक्ष संबध असलेले विषय थोडेच आहेत काही विशिष्ट बल लावल्याखेरीज तुम्ही ताब्यातून पाणी किंवा किटलीतून चहा ओतू शकत

नाही एवढेच काय पण विशिष्ट बल लावल्याखेरीज एखाद्या द्रव पदार्थाचं तुम्ही काहीच करू शकत नाही अशा शक्तीकडे मी तुमचे लक्ष वेधणार आहे तस झाल की मग या खोलीत तुम्ही जे काय ऐकणार किंवा पाहाणार आहात त्याची तुम्हाला वारवार आठवण झाल्याशिवाय राहाणार नाही मी काही प्रयोग तयार केले आहेत ते इतके सोपे आहेत की काही खास उपकरणाशिवाय ते तुम्ही सहज करून पाहू शकाल मी सांगतो ते नुसत ऐकण व मी करतो ते केवळ पाहाण यापेक्षा तुम्ही आपल्या हाताने प्रयोग करून पाहिलेत, तर ते नक्कीच अधिक गमतीशीर आणि बोधकारक ठरेल

प्रयोग दाखवले नाहीत तर ते सार नीरस होऊन जाईल, अस तुम्ही पटकन् म्हणाल ते खर आहे पण केवळ सुरस करण्याकरता मी तुम्हाला प्रयोग दाखवत नाही आपल्याला माहीत नसलेल्या घटनाचा अर्थ लावायचा झाला तर दोन मार्ग आहेत एक तर, ज्याला माहीत आहे अशा माणसाला विचारायचे, किंवा त्यासबधी तज्ज्ञानी काय लिहिले आहे ते वाचायचे कुणाकडे जर त्याच उत्तर मिळत असेल तर ठीकच पण तस नसेल तर मात्र दुसरा मार्ग घ्यायचा, तो म्हणजे प्रयोग करून स्वतःच प्रश्नाच उत्तर शोधायचा प्रयत्न करायचा प्रयोग म्हणजे काय आहे ? आपण निसर्गाला विचारलेला तो प्रश्न आहे आपण प्रश्न जर योग्य रीतीने विचारला (म्हणजे आपण प्रयोग योग्य रीतीने रचला) तर निसर्ग आपल्याला नेहमी बरोबर उत्तर देईल प्रयोग म्हणजे चकित करणारा हातचलाखीचा खेळ नाही छान वाटते म्हणून कुणी प्रयोग दाखवत नाही तसेच व्याख्यानाचा कटाळा येऊ नये म्हणून करायची ती गोष्ट नाही मी दाखवलेले प्रयोग सुंदर असतील, त्याच्यामुळे व्याख्यान सुरस होत असेल तर ते चांगलच होईल, पण प्रयोग दाखवण्याचा माझा मुख्य हेतू म्हणजे आपण विचारलेल्या प्रश्नाची खरी उत्तरे तुम्हाला स्वतःला बघायला मिळावीत, हा आहे

मी आता अशा एका प्रयोगाने सुरुवात करतो की जो करण्याचा तुम्ही अनेकदा प्रयत्न केला असेल हे पहा माझ्या हातात चित्र रगवायचा ब्रश^४ आहे ब्रशचे सगळे केस एकत्र आणून त्याला टोकदार करायचा असेल तर

आपण काय करतो ? तो ओला करतो आणि सहजपणे तुम्ही म्हणता की ब्रश ओला आहे म्हणून त्याचे केस चिकटून बसलेत आता आपण प्रयोग करूया हा ब्रश तुम्हाला सगळ्यांना दिसणार नाही म्हणून मी तो या दिव्यासमोर धरतो म्हणजे या पडद्यावर तुम्हाला मोठा होऊन दिसेल (आकृती १, डावी बाजू) ब्रश कोरडा आहे म्हणून त्याचे केस सुटेसुटे दिसतात आता मी तो पाण्यात बुडवतो बाहेर काढल्यावर त्याचे केस चिकटलेले दिसतात (आकृती १ उजवी बाजू) ओले झाल्याने ते चिकटले आहेत, असे



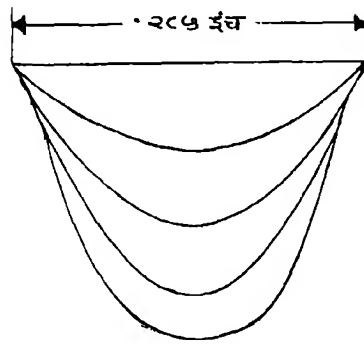
आकृती १

आपण सवयीने म्हणतो आता मी ब्रश पाण्यात धरून ठेवतो केस चिकटून बसलेले नाहीत हे स्पष्ट दिसत आहे (आकृती १, मध्यभागी) पाण्यात असल्याने केस ओले तर झालेले आहेत हे नक्की म्हणजे ब्रशचे केस चिकटून बसण्याचे जे कारण आपण समजतो ते बरोबर नाही अस दिसतय तेव्हा ब्रशचे केस चिकटून बसण्याकरता ते ओले असण एवढे एकच कारण नसून आणखीही काही कारण असल पाहिजे, पण ते आपल्याला माहीत नाही एवढेच ह्या प्रयोगाने आपल्याला कळल विशेष म्हणजे एक ब्रश आणि पाणी भरलेला पेला याशिवाय इतर काही साधन या प्रयोगाकरता आपल्याला लागलेले नाही पाण्याखाली गेल्यानंतर डोळे उघडण्याबाबतही एक समजूत आहे, तीही वस्तुस्थितीवर आधारलेली नाही, हेपण ह्या प्रयोगावरून कळून येत डोळे बंद ठेवून पाण्यात सूर मारला आणि पाण्याखाली गेल्यावर जर डोळे उघडले तर नीट दिसत नाही कारण पाणी डोळ्याच्या पापण्यांना चिकटवून ठेवतात, अशी एक साधारण समजूत असते प्रत्यक्षात अस काही होत नाही सूर मारताना डोळे उघडे असोत किंवा बंद असोत, पाण्याखाली गेल्यावर व्यवस्थित दिसू शकत पाण्यात बुडलेल्या ब्रशाने आपल्याला

समजले, की पाणी ब्रशच्या केसाना चिकटवून ठेवत नाही ब्रश पाण्यातून बाहेर काढल्यावरच ते चिकटतात ते कशाने चिकटतात, ह्याच कारण ह्या प्रयोगाने आपल्याला कळल नाही हे खर, पण केस चिकटण्याच नेहमी दिल जाणार कारण पुरेस नाही हे तरी निश्चितपणे कळल

आता मी असाच आणखी एक साधा प्रयोग करतो ही एक नळी आहे त्यातून अगदी हळू हळू पाणी येत आहे टोकाशी लहानसा थेंब तयार होतो, तो मोठा होत जातो, आणि एका विशिष्ट आकाराचा झाला की एकदम खाली टपकतो नीट बघितल तर आपल्या लक्षात येईल की प्रत्येक वेळी ठराविक आकाराचा झाला की तो खाली टपकतो प्रत्येक वेळी तेवढाच आकार होणे हा काही योगायोग असणार नाही थेंब खाली पाडण्याकरता बरोबर तेवढाच आकार गाठण्याचे काही कारण

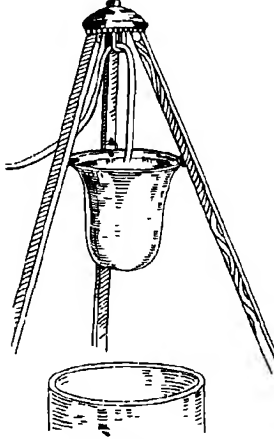
असणार पहिल म्हणजे थेंब नळीच्या तोंडाशी थांबून का बसतो ? पाण्याचा थेंब छोटो असला तरी जड आहे, तो खाली टपकायला तयार असतो, तरी मग तो तेवढा मोठा होण्याची का वाट पाहतो ? आणि तेवढा वाढला की लगेच टपकतो जस काही त्यापेक्षा अधिक वजन पेलवण त्याला शक्य नसत श्री वर्दिग्टन यांनी पाण्याच्या लहान-मोठ्या थेंबाची चित्रे काढली आहेत, ती या



आकृती २

भितीवर लावली आहेत (आकृती क्र २) प्रत्यक्ष थेंबाच्या मानाने ती मोठ्या प्रमाणावर काढली आहेत ती पाहून अस वाटत की पाणी रबरासारख्या लवचिक पिशवीत भरून लटकावले आहे पाण्याचे वजन जेव्हा त्या पिशवीला झेपत नाही तेव्हा ती फाटते आता हे थेंब पिशवीत भरलेले नाहीत पण थेंबाचा आकार कसा एखाद्या पिशवीसारखाच दिसतो आहे हा काही कल्पनेचा खेळ नाही हे दाखवण्यासाठी एक प्रयोग करतो एका तिपाईला

एक लाकडी रिंग अडकवतो तिच्यावर पातळ इडिया रबराचे^५ कापड ताणून बसवतो आता नळीने त्यावर पाणी सोडत राहतो पाण्याच्या वजनाने रबरी कापड ताणू लागलेले तुम्हाला दिसेल नीट लक्ष देऊन पहा ताणलेल्या



आकृती ३

रबराच्या अगी ताणशक्ती बरीच असते त्यामुळे आपल्याला कायमचा लोबकळत राहिलेला भला थोरला थेब बघायला मिळतो अगदी टपकण्याच्या वेळेला पाण्याच्या थेबाचा आकार असतो जवळ जवळ तसाच ह्याचा आकार झाला आहे मी त्यातले पाणी आता सायफन^६ (वक्रनलिका) करून काढून टाकतो म्हणजे रबराचा हा थेब आकुचन पावेल इथे आपण काय पाहिले ? तर जड द्रव एका लवचिक (इलॅस्टिक) पिशवीत भरलेला पाहिला थेबाच्या बाबतीत मात्र त्याला पिशवी नव्हती तरीही तो पिशवीत असल्यासारखाच लोबकळत होता दोन्ही थेब सारखेच वागतात त्यावरून त्या दोन्हीच्या आकाराचे आणि हालचालीचे एकच कारण असावे रबरी पिशवीमुळे पाणी जसे धरून ठेवले गेले तसेच पिशवी नसलेल्या थेबाला काही तरी धरून ठेवत असले पाहिजे

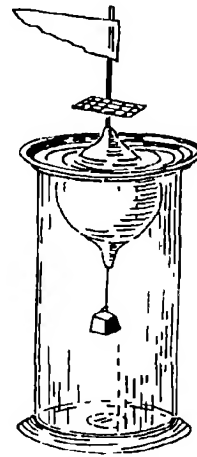
आपल्या ब्रशच्या प्रयोगाशी या प्रयोगाचा काय संबंध आहे ते बघू ब्रशचे केस चिकटून बसण्याचे कारण ते ओले आहेत एवढेच नाही, त्यासाठी ब्रश

पाण्यातून बाहेर येण आवश्यक आहे किंवा अस म्हणता येईल की, ब्रशचे केस चिकटून बसायला त्याच्यावर पाण्याचा पृष्ठभाग किंवा आवरण असण जरूर आहे आता हा पाण्याचा पृष्ठभाग लवचिक (इलेस्टिक) आवरणासारखा आहे अस धरल तर मग ब्रशचे केस आणि पाण्याचा थेंब या दोन्हीबाबतचे प्रयोग स्पष्ट होऊ शकतात

इतर ठिकाणीही पाणी एखाद्या लवचिक आवरणाच काम करते का हे पाहण्यासाठी आपण आणखी एक प्रयोग करू या

माझ्याजवळ ही एक काठी आहे तिच्या खालच्या टोकाला वजन बाधलय मध्यात एक काचेचा फुगा अडकवला आहे दोन्ही टोकाना मेण लावून तिथली भोके बुजवून टाकली आहेत आणि काठीच्या एका वरच्या बाजूला एक तारेची जाळी अडकवली आहे हे सगळ मिळून काचेच्या दडगोल आकाराच्या हडीतल्या पाण्यात तरगत राहिल इतका तो काचेचा फुगा मोठा आहे तारेची जाळी पाण्याच्या बाहेर आहे मी ती खाली दाबून सहज पाण्याला टेकवू शकतो ही सगळी हालचाल तुम्हाला स्पष्ट दिसावी म्हणून कागदाचा एक झेडा काठीच्या वरच्या टोकाला लावला आहे

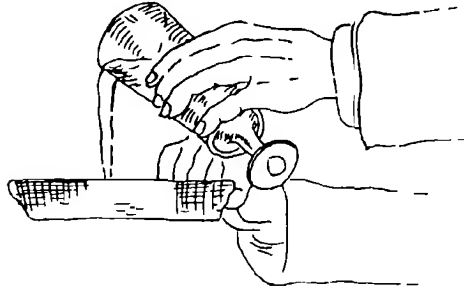
आता तारेची जाळी खाली दाबून पाण्याच्या पृष्ठभागाखाली नेतो पाण्याचा पृष्ठभाग जर लवचिक आवरणासारखा असेल तर तो जाळीला वर यायला अडथळा करेल मी हात सोडतो, काय झाल ? जाळी पाण्यातून वर यायच्या ऐवजी खालीच राहिली म्हणजे पाण्याच्या आवरणाने तिला अडवले आहे आता पाणी हलवतो व पाण्याच्या पृष्ठभागाला धक्का लावतो पहा, जाळी टुणकन उडी मारून वर आली (आकृती ४) पाण्याच्या या लवचिक आवरणाचा जोर बऱ्यापैकी असला पाहिजे



आकृती ४

कारण तारेच्या जाळीसकट त्या सर्व रचनेला बुडवून टाकायच असेल तर साधारण १/४ औंस^७ वजन ठेवाव लागेल

निर्मळ आणि नितळ पाण्यावर लवचिक असा एक थर किंवा आवरण असते हे मी तुम्हाला आणखी चांगल्या रीतीने दाखवू शकेन माझ्याकडे ही एक तारेची छोटीशी चाळणी आहे चाळणीच्या कोणत्याही भोकातून टाचणी जाऊ शकेल आणि ह्या चाळणीला साधारण ११ हजार भोके आहेत ही चाळणी पाण्यात बुडवली तर तार ओली होईल पण पॅराफिन^८च्या मेणबत्तीसारखे काही पदार्थ पाण्यामुळे ओले होत नाहीत मेणबत्ती पाण्यात बुडवून तुम्ही स्वतःच हे पाहू शकाल एका बशीत मी थोड वितळलेल पॅराफिन वॅक्स^९ घेतलय आता चाळणीची जाळी मी त्यात बुडवतो म्हणजे तारेवर त्याचा थर चढेल पण जाळीची भोक बंद होऊ नयेत म्हणून पॅराफिन गरम असतानाच मी चाळणी झटकतो आता चाळणीच एखाद दुसरा भोक सोडल तर बाकीची उघडी रहातील, हे तुम्ही पडद्यावर बघू शकता त्याच्यातून टाचणी सहज घुसू शकेल हेच वर सांगितलेले उपकरण आहे पाण्यावर जर



आकृती ५

आवरण ताणले जावे लागणार आता तारेची जाळी जर ओली झाली नाही किंवा पाण्याने तारेला स्पर्श केला नाही तरच फक्त आवरणाची तपासणी

लवचिक आवरण
असेल तर ते
ताणण्याकरता जोर
लावावा लागेल
चाळणीच्या प्रत्येक
भोकातून पाणी
सहजी दुसऱ्या
बाजूला जाऊ
शकणार नाही कारण
त्यासाठी चाळणीच्या
प्रत्येक भोकापाशी ते

करता येईल हे तुम्ही लक्षात घ्या आता मी चाळणीत पाणी ओतणार आहे पण ओतण्याच्या जोरामुळे पाणी जाळीच्या भोकातून ढकलल गेल अस होऊ नये म्हणून चाळणीत मी एक कागद ठेवतो म्हणजे ओतण्याचा जोर अडवला जाईल (आकृती ५) आता मी चाळणीत पाणी ओततो, जवळ जवळ अर्धा पेला पाणी चाळणीत झाल आहे, आणखी थोड ओततो आता कागद हलकेच काढून घेतो काय झाल ? एकही थेंब चाळणीतून गळला नाही पण आता चाळणीला हलकासा धक्का देतो, बघा, सगळे पाणी क्षणात पलीकडे गेल यावरून तुम्हाला सिपल सायमनची^{१०} गोष्ट आठवली असेल

तो चाळणी घेऊन गेला पाणी आणायला. पाणी क्षणातच सांडून गेल आणि सायमनचं हसं झालं.

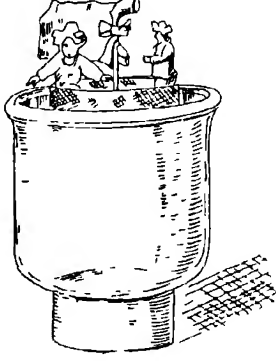
त्याला जर चाळणीतून पाणी आणायची युक्ती माहीत असती तर कदाचित त्याच हस झाल नसत

चाळणीतून पाणी निघून गेल्यावर जर मी ती पाण्यावर ठेवली तर ती तरगेल कारण चाळणीच वजन कमी आहे आणि ते पाण्याच्या आवरणाला पुरेसा जोर लावू शकत नाही मी तुम्हाला मघाशी सांगितलंय की चाळणीला सुमारे ११ हजार भोक आहेत, त्याच्यातून टाचणी सहज घुसू शकेल इतकी ती मोठी आहेत तरी चाळणी तरगत आहे आणि खालच पाणी अजिबात वर येत नाही ह्या प्रयोगावरून आपल्याला आणखी एक गोष्ट समजते, ती म्हणजे खऱ्याखऱ्या बिनडोक्याची गोष्ट लिहिण सोप नाही

लियरच्या^{११} 'नॉनसेन्स सॉगज्' या पुस्तकातली एक गोष्ट तुम्हाला आठवते का ?

चाळणीत बसून, ते निघाले समुद्रप्रवासाला ती म्हणे त्याची होडी वल्हवत वल्हवत ते सागरात गेले दिवस थडीचे होते वादळाची शक्यता होती मित्रानी परोपरीने समजावल तरी आपली होडी त्यानी समुद्रात नेली चिलमीची केली डोलकाठी, शीड म्हणून त्याला बाधली होती एक फीत पण नवल काय सांगू, चाळणीतून लगबगीने ते समुद्रापर्यंत पोहोचले

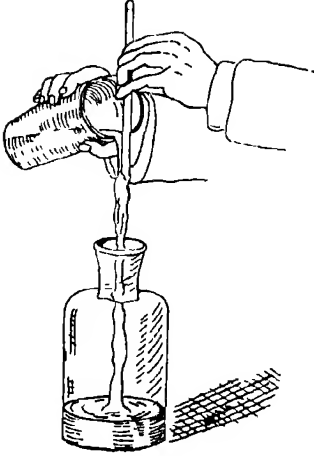
वगैरे वगैरे थोडक्यात काय तर चाळणीत बसून समुद्र प्रवास करण तस अशक्य नाही आता चाळणीत माणस बसू शकतील इतकी मोठी चाळणी पाहिजे आणि समुद्र शात पाहिजे चित्रात पहा चाळणीत बसून कसे मजेत चाललेत ! (आकृती ६)



आकृती ६

पाण्याच्या या लवचिक आवरणाच्या शक्तीचे आणखी एक उदाहरण देतो समजा, आपल्याला चिचोळ्या तोडाच्या बाटलीत पाणी ओतायच आहे सावकाश ओतल तर ते बाटलीच्या बाजूवरून खाली येईल आणि इकडे तिकडे साडेल झटकन ओतल तर सगळ पाणी एकदम बाटलीत शिरायला जागाच नाही म्हणून पुन्हा खालीच साडेल पण तुम्ही जर लाकडाची किंवा काचेची काडी घेतलीत आणि फुलपात्राच्या कडेशी धरलीत तर पाणी काडीवरून घसरून बाटलीत शिरेल (आकृती ७) ही काडी तिरकी केली तरीही पाणी त्या ओल्या काडीवरून बाटलीत जाईल आणि ह्याच कारण म्हणजे पाण्याच्या त्या पातळ आवरणाची एक नळीच तयार झाली आहे ती पाण्याला इकडे तिकडे जाऊ देत नाही छपरावरून पन्हाळीत घसरणार पाणी खालच्या हौदात साठवण्याकरता काठीचाच उपयोग खेडोपाडी केला जातो ही वरपासून लावलेली काठी एखाद्या नळीसारखं काम करते आणि नळीपेक्षा कितीतरी कमी खर्चात

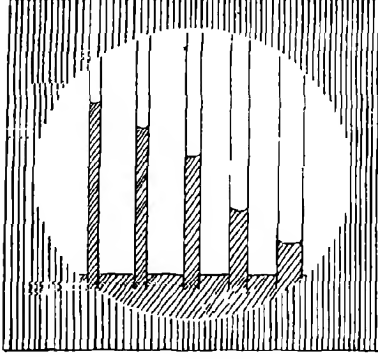
पाण्याच्या पृष्ठभागावर एक लवचिक आवरण असत हे मी तुम्हाला पुष्कळ प्रकारे दाखवून दिल आहे, होय ना ? म्हणजे पृष्ठभागावर पाणी नसून दुसराच एखादा पदार्थ आहे असा त्याचा अर्थ नाही ते पाणीच असत, पण पृष्ठभागावर ते एका रबराच्या पातळ लवचिक आवरणाच काम करत रबरापेक्षाही ते अधिक लवचिक असत



आकृती ७

अरुद नळीत पाणी वेगळच का वागत ह्याच कारण तुम्हाला समजायला हरकत नाही ह्या दिव्यापुढे मी एक पाणी भरलेली बशी ठेवली आहे तुम्हाला सहज दिसाव म्हणून तिच्यातल पाणी निळ केलय आता मी अगदी चिचोळी काचेची नळी ह्या पाण्यात बुडवतो काय होत ? पाणी नळीत शिरल आहे पाण्याच्या पातळीहून ते अर्धा इंचभर वर गेलय नळी आतून ओली झालीय म्हणजे पाण्याच्या पृष्ठभागावरच आवरण नळीवरही आलंय तेच नळीतल्या पाण्याला आपल्या शक्तीनुसार वर खेचते सर्वसाधारण पातळीपेक्षा

वर चढलेल पाणी जितक्या वजनाच आहे तेवढी पाण्याच्या आवरणाची शक्ती आहे, अस म्हणायला हरकत नाही समजा आपण ह्या नळीच्या दुप्पट व्यासाची नळी घेतली तर तेव्हाही आवरण पाण्याला खेचण्याची क्रिया चालूच ठेवणार व मघाशी खेचल त्याच्या दुप्पट वजनाइतके पाणी नळीत ओढल जाणार हे निश्चित पण मग चढलेल्या पाण्याची पातळीही दुप्पट होणार का ? नाही, तस होत नाही एक म्हणजे, दुप्पट रुंदीच्या नळीत व चिचोळ्या नळीत एका ठराविक पातळीपर्यंत पाणी चढल तर रुंद नळीतील पाणी खूपच जास्त असत किती जास्त ? तुम्हाला वाटेल दुप्पट पण नाही ते चौपट असत त्यामुळे दुप्पट रुंदीच्या नळीत चढलेल्या पाण्याची पातळी अरुद नळीतल्या पातळीपेक्षा दुप्पट तर नाहीच पण केवळ अर्ध्यानेच असेल आता ह्या दोन्ही नळ्या शेजारी-शेजारी उभ्या केल्या तर लहान नळीतल्या पाण्याची उंची मोठ्या नळीतल्या पाण्याच्या उंचीच्या दुप्पट आहे अस दिसून येईल आता मी जर अगदी केसाइतकी बारीक नळी घेतली तर पाणी खूपच वर चढलेल दिसून येईल ह्या कारणाने त्याला कॅपिलरी^{१२} म्हणतात हा



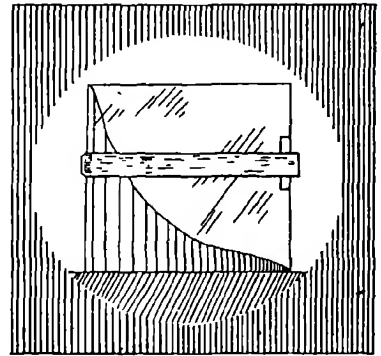
आकृती ८

शब्द लॅटिन भाषेतल्या कॅपिलस (एक केस) या शब्दावरून घेतला आहे. केसाइतक्या बारीक नळीत पाण्याच हे चढण उठून दिसल्याने तस नाव पडलय.

समजा, आपल्याकडे वेगवेगळ्या आकाराच्या पुष्कळ नळ्या आहेत, आणि आपण त्या आकारानुसार ओळीने लावल्या तर सगळ्यात बारक्या नळीत चढलेल्या पाण्याची

उंची सर्वात अधिक असेल आणि जसजसा नळीचा आकार वाढेल त्या मानाने त्यात चढलेल्या पाण्याची उंची कमी कमी होईल आणि सर्वात मोठी नळी पाहिली तर तिच्यात पाणी चढलच नाही अस दिसून येईल (आकृती ८)

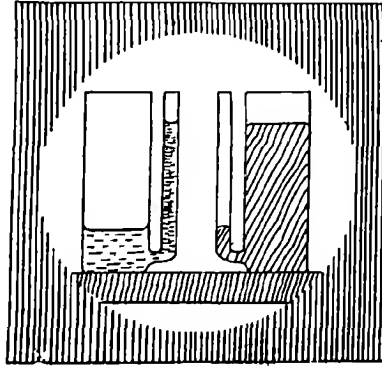
हाच प्रयोग आपल्याला दुसऱ्या रीतीनेही पाहता येईल. खिडकीला लावतात ना तशी दोन काचेची तावदाने घेऊन त्याच्यामध्ये एका बाजूला एक काडी किंवा कसलाही बारीक तुकडा ठेवून त्या काचा एकमेकावर ठेवू या म्हणजे एका कडेला त्या दोन काचामधे थोड अंतर राहील आणि विरुद्ध बाजूच्या कडा मात्र एकमेकाना चिकटलेल्या राहातील. एक रबर बॅंड लावला तर तो त्या काचाना तसेच धरून ठेवेल. आता त्या काचा मी रगीत पाण्यात उभ्या करतो. बघा, पाणी चढल काचाच्यामध्ये पण कस ? जिथे काचा चिकटल्या आहेत तिथे ते



आकृती ९

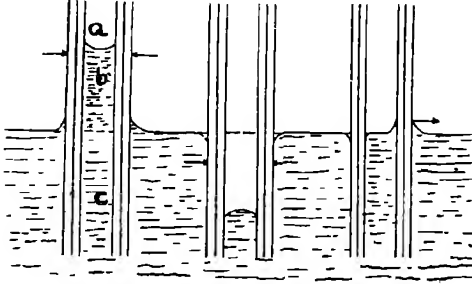
जवळ-जवळ वरपर्यंत चढलय आणि जिथे काचामध्ये अतर आहे तिथे त्याची उंची कमी होत गेली आहे पाण्याची वरची कड कशी एका वक्र रेषेत आहे पहा (आकृती ९) त्याला गणितात 'रेक्टॅंग्युलर हायपरबोला' म्हणतात अशा वक्राकार रेषाबाबत थोडी माहिती सागावी लागणारच आहे आता मात्र दोन काचामधल अतर जस अधिक होत जात, तिथे पाणी कमी उंची गाठत, त्यामुळे इथे त्याची वक्र रेषा हायपरबोलाकार^{१३} झाली आहे, एवढच सागतो म्हणजेच - "या वक्र रेषेच्या कोणत्याही भागावर जेवढ पाणी खेचल गेलय त्याच वजन सगळीकडे सारखच आहे "

ह्या काचा किंवा नळ्या पाण्याने ओल्या न होणाऱ्या पदार्थापासून बनलेल्या असतील तर पृष्ठभागाच्या ताणाचा परिणाम म्हणून द्रव चिचोळ्या जागापासून दूर सारला जाईल जागा जितकी चिचोळी (लहान) तितका द्रव अधिक दूर सारला जाईल पाणी आणि पॅराफिन्ड काचा किंवा नळ्या घेऊन हे दाखवण सोप नाही म्हणून जो काचेला भिजवणार नाही किंवा स्पर्शच करणार नाही असा द्रव घेऊ या, असा द्रव म्हणजे पारा^{१४} पारा हा पारदर्शक नाही, म्हणून पारा असलेली बारकी नळी भाड्यात ठेवली तर नळीतली पाऱ्याची पातळी ही भाड्यातल्या पाऱ्याच्या पातळीहून कमी आहे हे दाखवण कठीण होईल पण दुसऱ्या वस्तू वापरून आपण तोच परिणाम बघू शकतो आपण एकमेकाना जोडलेल्या जाड व बारीक नळ्या घेऊ पडद्यावर त्याचे चित्र उमटेल त्यात तुम्हाला पाणी आणि पारा ह्याच्या पातळ्या जाड व



बारीक नळीत कशा एकमेकाविरुद्ध आहेत हे दिसेल पाणी बारीक नळीत उच गेलय (आकृती क्र १० डावीकडे) आणि बारीक नळीत पाऱ्याची पातळी मात्र जाड्या नळीहून कमी आहे (आकृती १० उजव्या बाजूला)

पाण्यात अर्धवट बुडलेल्या दोन सपाट काचा एकमेकाना चिकटून ठेवल्या तर काय होईल ? त्याच्यामध्ये पाणी चढते हे आपण बघितले या काचाच्या ज्या भागाच्या मध्ये आणि बाहेरही हवा आहे ते भाग आकृती क्र ११ मध्ये 'ए' अक्षराने दाखवले आहेत या भागावर हवेचा दोन्ही बाजूनी रेटा आहे, त्यामुळे ते भाग एकमेकाकडे ओढलेही जात नाहीत किंवा एकमेकापासून दूरही जात नाहीत



आकृती ११

काचावर जिथे दोन्ही बाजूना पाणी आहे ते आकृती क्र ११ मध्ये 'सी' अक्षराने दाखवले आहे पाण्याच्या रेट्यामुळे विरुद्ध बाजूनी दाबल्या गेल्याने त्या काचाही एकमेकाकडे ओढल्या जात नाहीत किंवा दूर सारल्या जात नाहीत

काचाच्या ज्या भागाच्या मध्ये पाणी आणि बाहेर हवा आहे ते 'बी' अक्षराने दाखवले आहे, त्याच्यामधल्या पाण्याचा जोर बाहेरच्या हवेच्या जोरापेक्षा अधिक आहे म्हणून ते काचाना बाहेर ढकललेल अस वाटेल आणि या काचाची जोडी जर घट्ट रोवलेली नसती तर त्या एकमेकापासून लगेच बाजूला झाल्या असत्या, अस कदाचित तुम्हाला वाटेल तस वाटण स्वाभाविक असल तरी ते चुकीच आहे त्या काचामध्ये पाणी वर चढले आहे ह्याचा अर्थ काय ? इतर पाण्याच्या पातळीपेक्षा तिथे ते वर चढले आहे ह्याचाच अर्थ तिथे दाब कमी असला पाहिजे तुम्हाला माहीत आहे की, पाण्याच्या खाली जावे तसा दाब

अधिक आणि वर यावे तसा दाब कमी असतो त्यावरून काचामधे वर चढलेल्या पाण्याचा दाब बाहेरच्या हवेच्या दाबापेक्षा कमी असला पाहिजे आणि म्हणून काचा एकमेकाकडे दाबल्या गेल्या आहेत हे तुम्हाला सहज दिसेल ख्रिसमसच्या झाडावर^{१५} लावतो तशा प्रकारचे वजनाने हलके आणि पोकळ असे दोन मणी माझ्याजवळ आहेत मण्याची एक बाजू मेणाने बंद केली तर ते पाण्यावर तरंगतील हे दोन मणी पाण्याने ओले झाले आहेत म्हणून त्या दोनाच्या मध्ये पाणी किंचितस चढल ते या काचाइतके प्रभावी नसले तरी तसेच वागतात पण मी त्यांना सोडले रे सोडले की ते एकमेकाकडे जोराने खेचले जातील

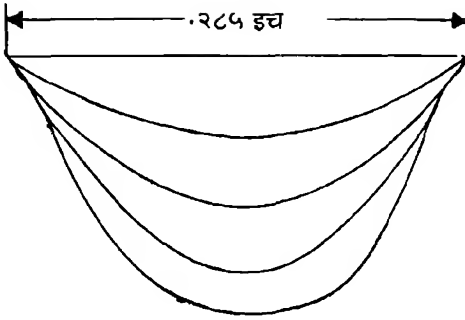
आता आकृतीतील (क्र ११) मधली जोडी जरा बघा त्या दोन्ही काचा ओल्या नाहीत तेव्हा, त्या एकमेकाकडे खेचल्या जातील हे तुम्हाला मी न सांगताही कळेल जे मणी मेणात बुडवले होते ते मणी ओले होणार नाहीत पण तेही पाण्यात सोडल्याबरोबर एकमेकाकडे ओढले गेलेले दिसतील त्यांना बाजूला केले तरी पुन्हा ओल्या मण्यासारखेच ते पुन्हा खेचले जातात

आता ही दोन्ही उदाहरणे पुन्हा तपासू या जी काच ओली असते तिच्यापाशी पाण्याची पातळी अधिक असते आणि जी काच ओली होत नाही तिच्यापाशी पाण्याची पातळी खाली जाते पाण्याची पातळी दोन ठिकाणी वेगळी असण्याचे कारण केशाकर्षण हे आहे आता एक काच ओली आणि एक काच कोरडी (म्हणजे पाण्यात बुडली तरी जिला पाणी चिकटत नाही अशी) याच्या मधल्या पाण्याची पातळी आकृतीत दोबळपणे दिसते आहे पाणी जिथे ओल्या काचेला भिडते त्या टोकाला त्याची पातळी वर गेली आहे आणि जिथे ते कोरड्या काचेला भिडते त्या टोकाला त्याची पातळी कमी झाली आहे ह्याचा अर्थ असा की ओली व कोरडी काच एकमेकाना दूर सारतात आता मी एक पॅराफिन्ड बॉल आणि एक साधा (ओला होऊ शकेल असा) बॉल एकाच पाण्यात सोडतो ते कसे एकमेकापासून दूर जातात बघा

तुमच्या लक्षात आल असेल की ओल्या काचेच्या जवळ पाणी वर चढलय तिथे त्याचा वर जाणाऱ्या कसासारखा आकार झाला आहे आणि कोरड्या

काचेजवळ मात्र त्याचा खाली जाणारा कस झालाय पाण्याच्या पृष्ठभागाचे हे जे वक्रीभवन झालय त्याला फार महत्त्व आहे, ते मी तुम्हाला एका प्रयोगाने दाखवतो, तो प्रयोग इतका साधा आहे की तुम्ही घरी करून पाहू शकाल माझ्याकडे हा एक काचेचा स्वच्छ मणी आहे तो मी या काचेच्या एका स्वच्छ भाड्यातल्या पाण्यात तरगत ठेवतो भाड पाण्याने पूर्ण भरलेल नाही मणी सतत भाड्याच्या कडेला जातो त्याला मध्ये ठेवण जवळ-जवळ अशक्य आहे तो प्रत्येक वेळी या, नाहीतर त्या बाजूला सरकून भाड्याची कड गाठतो आता मी भाड्यात आणखी पाणी ओततो पाण्याची पातळी भाड्याच्या वरच्या कडेपर्यंत येईतोवर ओतत राहतो आता काय झाल ? भाड्याच्या मध्यभागात पाण्याचा पृष्ठभाग फुगीर झालाय आणि मण्याभोवती मात्र तो खोलगट झालेला दिसतो आहे आणि मणी कुठे आहे ? तो हळू हळू भाड्याची कड सोडून मध्यात येऊन बसलाय आता त्याला भाड्याच्या कडेपाशी थांबवून ठेवण कठीण झालय हाद्य मणी जर पॅराफिन्ड असेल तर बरोबर विरुद्ध घडेल पॅराफिन्ड मण्याऐवजी तुम्ही शिवायची सुई घ्या आणि ती हळूच पाण्यावर सोडा ती तरगेल भाड पाण्याने काठोकाठ भरल नसेल तर सुई भाड्याच्या कडेपासून दूर जाईल आणि भाड काठोकाठ भरल तर ती सुई कडेला सरकू लागेल आणि कडेवरून भाड्याच्या बाहेर पडेल त्या पाण्यात एखादा बुडबुडा असेल तर तो देखील भाड काठोकाठ भरल्याबरोबर पटकन बाहेर पडेल ह्या गोष्टी इतक्या पटकन कशा बाहेर पडतात ही एक नवलाची गोष्ट आहे एक ग्लास पाण्याने जवळ-जवळ गळ्यापर्यंत भरा आणि मग एक बूच आत बुडवा आणि बाहेर काढा म्हणजे पाण्याच्या पातळीत बदल होत जाईल आणि वर सांगितलेली नवलाची गोष्ट तुम्हाला सहज बघता येईल

इतकी उदाहरणे सांगितली पण पाण्याच्या ह्या पातळ लवचिक आवरणाच्या शक्तीबद्दल मी काहीच सांगितले नाही ह्या चिचोळ्या नळ्या, हे थेंब काय दाखवतात हे मोजल तर एका इचावर सव्वातीन ग्रेन^{१६} इतका वजनाचा जोर पडतो ही झाली पाण्याच्या आवरणाची शक्ती इतर द्रव असेच वागतात का, किंवा इतर द्रवांच्या आवरणाचा जोर इतकाच असतो का हे



आकृती १२

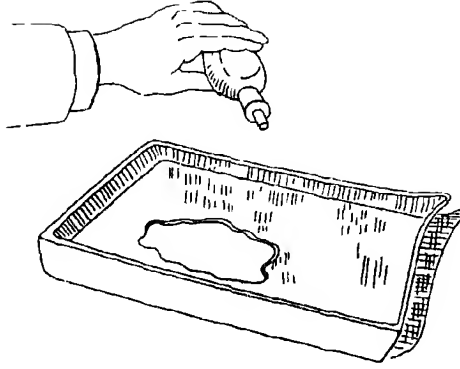
आपण अजून तपासलेले नाही

मघाशी ज्या नळीतून एकामागोमाग एक पाण्याचे थेंब बनत गेले तशीच आता आणखी एक नळी घेऊ (आकृती १२) या वेळी त्यात पाण्याऐवजी अल्कोहोल^{१७} हा द्रव

घेऊ या नळ्या शेजारी आहेत, दोन्हीतून थेंब थेंब गळत आहेत अल्कोहोलच्या थेंबालाही खाली पडण्यापूर्वी एक ठराविक आकार येतो आहे पण पाण्याच्या थेंबाइतका तो मोठा होत नाही, पहिलत ? त्याला दोन कारणे सभवतात एक तर अल्कोहोल पाण्याहून जड असल पाहिजे तस असल आणि दोन्ही द्रवाच्या आवरणाची शक्ती सारखीच असल तर मग अल्कोहोलचा थेंब लहान असतानाच पडेल आणि अल्कोहोल जर पाण्यापेक्षा जड नसेल तर मात्र त्याच्या आवरणाची शक्ती पाण्याच्या आवरणापेक्षा कमी असली पाहिजे आणि खर तर अल्कोहोल पाण्यापेक्षा हलका द्रव आहे तेव्हा त्याचे आवरण पाण्याच्या आवरणापेक्षा अशक्त असल पाहिजे

आता एखादी कसोटी लावून आपण हे सहज तपासू शकतो रस्सीखेच हा खेळ तुम्हाला माहीत आहे त्या खेळात कोणता गट अधिक शक्तिवान ठरतो ? जो दुसऱ्या गटाला आपल्याकडे खेचतो तो, हो ना ? आपण पाणी आणि अल्कोहोल याना हा खेळ खेळायला लावू या पाणी तुम्हाला स्पष्ट आणि वेगळ दिसाव म्हणून आपण ते निळ करू या ह्या पाढऱ्या पसरट बशीच्या तळाशी पाणी आहे पाण्यावरच आवरण आता सर्व दिशानी सारखच ओढत आहे, त्यामुळे तिथे काहीच होत नाही आहे

मी त्याच्या मध्यात अल्कोहोलचे थोडे थेंब टाकले आता पाणी आणि



आकृती १३

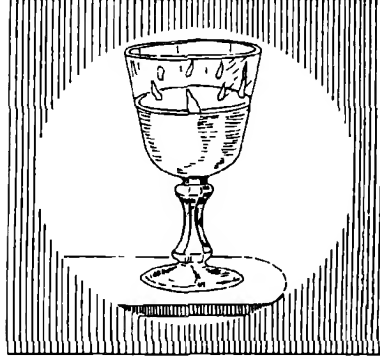
अल्कोहोल वेगळ
ठेवणारी रेघ तयार झाली
आहे तिथे अल्कोहोल
आत ओढतय आणि
पाणी बाहेर ओढतय
निकाल काय लागतो
पहा पाण्याचा जय
झालेला आहे पाणी सर्व
दिशानी पसरल आणि
आपल्याबरोबर त्याने
थोड अल्कोहोलही खेचून
घेतलय बशीचा तळ

कोरडाच राहिला आहे (आकृती १३)

अल्कोहोलचे आवरण, पाण्याचे आवरण किंवा पाण्यात थोड अल्कोहोल मिसळलेल्या पाण्याच आवरण याच्या शक्तीत बराच फरक दिसतो आणखी एक हालचालही त्यात दिसून येते आहे कदाचित ती हालचाल तुम्ही पोर्ट^{१८} सारखी तीव्र मदिरा^{१९} ओतलेल्या ग्लासातही पाहिली असेल मदिरा ग्लासाच्या बाजूवरून वर चढलेली दिसते आणि मग तिचे थेंब बनून ते खाली मदिरेत मिसळतात, अस बरेचदा घडत राहत हे कस व का होत ? बाटलीतून मदिरा ग्लासात ओतली की ग्लासाच्या बाजूवरही तिचा एक थर बसतो हवेशी संपर्क येतो तेव्हा बाजूवरच्या थरातल्या मदिरेतले अल्कोहोल ग्लासातल्या मदिरेपेक्षा अधिक वेगाने उडून जाते (म्हणजे त्याचे वाष्पीभवन^{२०} होते) आणि ग्लासातल्या मदिरेपेक्षा बाजूवरच्या थरातल्या मदिरेत अल्कोहोल कमी आणि पाणी अधिक अशी परिस्थिती निर्माण होते ह्या कारणाने बाजूवरच्या थराचे आवरण जास्त बळकट होते व ते ग्लासातल्या मदिरेला वर खेचून घेते असे बराच वेळ चालल्याने शेवटी ग्लासाच्या बाजूवर पाणी साठत जाते व त्याचे थेंब होऊन ते ओघळू लागतात आकृती क्र १४ मध्ये ते स्पष्ट दिसत आहे ह्यामुळेच कदाचित प्रॉव्हर्बज^{२१} मध्ये ह्या

हालचालीबद्दल, "लाल मदिरेकडे पाहू नको, ती आपला रंग पेल्याला देते आणि वर चढते" असं म्हटलं आहे

अशी हालचाल फक्त तीव्र मदिरेच्या बाबतीतच होते आणि वरच्या ओळी लिहिल्या गेल्या तेव्हा सर्व लोक मदिरा प्यायचे, तिची तीव्रता त्यांना माहीत होती त्यांनी आपला अनुभवच त्या ओळीत सांगितला आहे असे म्हणायला हरकत नाही



आकृती १४

मी तर ह्याच्याही पुढे जाऊन म्हणून की पूर्वी लिहिल्या गेलेल्या ज्या इतरही काही गोष्टींचा आज आपल्याला अर्थ लागत नाही, त्याचा विचार करा त्यावेळी प्रचलित असलेल्या माहितीच्या आधारावर त्या लिहिल्या गेल्या असतील आज आपल्याला त्याचा सदर्थ लागत नाही, एवढेच ।

इथर^{२२} हा एक पदार्थ आहे त्यालाही असेच आवरण असते ते पाण्याच्या आवरणाच्या मानाने कमकुवत असते पाण्यावर अगदी इवलेसे इथर टाकले तरी त्याचा स्पष्ट परिणाम दिसून येतो मद्याशी मी पाण्यावर तारेची जाळी टाकली होती ती अजून पाण्याच्या आवरणावर टेकून राहिली आहे, तिचेच उदाहरण घेऊया काचेचा फुगा तिला वर ढकलायचा प्रयत्न करतो आहे पण त्याची बॉयन्सी^{२३} किंवा मुसडी मारून वर यायची शक्ती त्या आवरणाला ढकलायला पुरी पडत नाही आहे आता एका ग्लासात मी इथरचे थोडे थेंब घेतो आणि ते पाण्यावर टाकतो (द्रवाचा एक थेंबही काठावरून वाहून जात नाही आहे) लगेचच इथर पाण्यावर पसरले आणि पृष्ठभागावरच्या आवरणाची शक्ती कमी झाली आणि तारेची जाळी उडी

मारुन वर आली पहा

दोन द्रवाच्या आवरणाच्या शक्तीमध्ये फरक असतो त्यामुळे कधीकधी आपल्याला त्रास होतो पण तेच त्याचा उपयोग करून घ्यायचे माहीत झाले तर ते आपल्याला फायद्याचे ठरू शकते. तुमच्या कपड्यावर जर वगण^{२४} साडले तर बेन्झीनने^{२५} तुम्ही त्याचा डाग काढू शकता आता डागावर तुम्ही शुद्ध बेन्झीन टाकलेत तर ते तेलकट होऊन कपड्यावर पसरले त्याच काय आहे की शुद्ध बेन्झीनच्या आवरणाची शक्ती तेलकट बेन्झीनपेक्षा कमी असते वगणावर बेन्झीन पडले की त्यातले काही वगण बेन्झीनमध्ये विरघळते व तेलकट होते आणि ते शुद्ध बेन्झीनशी रस्सीखेच करू लागते आणि ते अधिक शक्तिमान असल्याने ते त्याच्यापासून दूर जाऊ लागते, म्हणजेच कपड्यावर पसरू लागते त्याच्याबरोबर वगणही पसरते पण बाटलीवर लिहिलेल्या सूचनेप्रमाणे जर डागाभोवती प्रथम शुद्ध बेन्झीनने एक वर्तुळ आखून घेतलेत आणि नंतर वगणाच्या डागावर थोडे बेन्झीन लावलेत तर वगण मिसळलेले बेन्झीन शुद्ध बेन्झीनपासून दूर पळू लागेलच पण आता त्याला जागा फक्त वर्तुळाच्या आतच मिळेल आणि ते डागाच्या मध्यात येऊन थाबेल आता जर एका कापडाने पुसले तर ते वगण मिसळलेले बेन्झीन त्यात शिरेल आणि डाग निघून जाईल

गरम वगण आणि गार वगण ह्यांच्यातही फरक असतो तुम्ही घरी जाऊन साधी मेणबत्ती जळताना बघा ज्योतीच्या जवळचे मेण गरम असते आणि मेणबत्तीच्या बाहेरच्या अगाचे मेण त्याच्या मानाने थंड असते थंड मेणाच्या आवरणाची शक्ती गरम मेणाच्या आवरणापेक्षा कमी असते त्यामुळे गरम मेण गार मेणापासून दूर सरकण्याचा प्रयत्न करीत असते पण त्याकरता त्याला वातीजवळ जात राहण्याशिवाय दुसरी जागाच नसते म्हणून ते वातीजवळ सरकत राहते मेणाबरोबर धुळीचे कणही जात राहतात म्हणून ती हालचाल आपल्याला बघायला मिळते ही हालचाल सतत होत राहाते व म्हणून मेणबत्ती सलगपणे जळत राहू शकते

गरम सळई किंवा टिपकागदाने तेलाचे डाग काढतात हे तुम्हाला कदाचित

माहिती असेल तेथेही याच प्रकारची क्रिया घडत असते

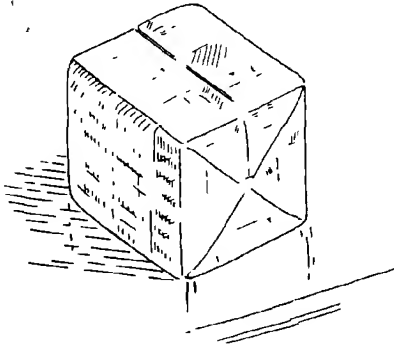
पेटलेला कापूर^{२६} पाण्यावर तरगत सोडला तर तिथेही पाण्याच्या आवरणाची शक्ती आणि कापराची शक्ती यातल्या फरकामुळेच हालचाल होत असते

आणखी एक उदाहरण पहा तुम्ही पाण्याच्या रंगाने चित्र काढता गुळगुळीत कागदावर ते रगवले तर रंग बसत नाहीत, वाहून जातात हे तुम्हाला माहित असेलच पण त्या कागदावर अगदी किचितसा डिटर्जंटचा द्रव टाकला तर तेच रंग व्यवस्थित बसतात का ? डिटर्जंटमुळे पाण्याच्या आवरणाची शक्ती कमी होईल आणि मग तेच गुळगुळीत कागदाला ओले करतील (म्हणूनच रंग नीट बसतील) शुद्ध पाणी जे पृष्ठभाग ओले करू शकत नाही, ते डिटर्जंटमिश्रित पाणी करते आपली तारेची जाळी आपण पुन्हा एकदा पाहूया म्हणजे तुम्हाला आवरणाची शक्ती - सरफेस टेन्शन - कमी झाल्याचे बघायला मिळेल आत्तापर्यंत इथर उडून गेल आहे त्यामुळे जाळी मी पुन्हा एकदा पाण्यावर ठेकून (तरगत) ठेवू शकतो आता ह्या डिटर्जंटच्या द्रवात बुडवलेला हा ब्रश मी पाण्याला जरासा लावतो, काय झाल ? जाळी पुन्हा एकदा टुणकन् उडी मारून वर आली

“कोणत्याही द्रवाचा पृष्ठभाग विशिष्ट शक्तीनिशी एखाद्या लवचिक कातड्यासारखा वागतो” हे आणखी एकदा सिद्ध करून दाखवण्याची आता गरज नाही

समजा, तुम्ही एक चमचा भरून पाणी घेतलत आणि ते सोडलत तर काय होईल ? ते जमिनीवर पडेल आता पॅराफिनची (मेणाची) वडी घेऊन तिच्यावर लायसोपोडियम^{२७}ची पूड पसरलीत आणि त्यावर तेवढेच पाणी हळूच टाकल तर काय होईल ? (लायसोपोडियम ओले होत नाही) पाण्याच्या वजनामुळे पाणी खाली जरूर पडेल पण त्याच वजनाच्या कारणाने ते पॅराफिनच्या वडीवर पसरून राहील पाण्याच्या वजनाला किंवा त्याला खाली खेचणाऱ्या शक्तीला त्या क्रियेपासून अडवल तर काय होत ? अशा वेळी पाण्यावर फक्त त्याच्या लवचिक कातडीचाच परिणाम होईल, आणि ती

कातडी पाण्याला कमीत कमी जागेत बसवण्याचा प्रयत्न करेल म्हणजे त्या पाण्याचा झटपट गोलाकार होईल कारण गोलाकाराइतका छोटा पृष्ठभाग दुसऱ्या कोणत्याच आकारात मिळणार नाही आता चमचाभर पाणी घेण्याऐवजी आपण जर अगदी कणभर म्हणजे टाचणीच्या डोक्याइतक पाणी घेतल तर ! त्या पाण्याच वजन कमी असेल त्यामुळे त्याच्या जोराने ते खाली पडण्याचा संभव कमीच तरी पण त्याच्या आवरणाची शक्ती मात्र तेवढीच



असेल, एवढच नाही, तर आता पाण्याला एका आकारात बसवण्याची क्षमता वाढलेली असते ह्याचे कारण मात्र मलाही सांगता येणार नाही म्हणूनच अगदी कणभर पाणी घेतल तरी त्याच वजन सामावून त्याचा बरोबर गोलाकार करण्याइतकी त्याच्या कातड्यात - आवरणात - शक्ती असते हे समजायला तुम्हाला अडचण येत असेल तर आणखी एक साध उदाहरण देतो म्हणजे तुमच्या लक्षात

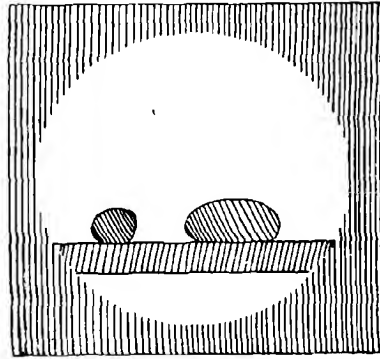
आकृती १५

येईल कागदाच्या घड्या घालून डबा बनवायच तुमच्यापैकी पुष्कळना माहीत असेल ह्या डब्याला कॅट-बॉक्स म्हणतात कारण ह्यात पाणी भरून बरोबर फेकला तर माजराना पळवून लावता येत इथे हा जो डबा आहे (आकृती १५) तो साध्या वर्तमानपत्राच्या कागदाने बनवला आहे त्यात साधारण दोन-तीन कप पाणी मावेल त्यात पाणी भरून तुम्ही तो इकडे तिकडे नेऊ शकता, तुमच्या शक्तीनिशी तो फेकूही शकता एवढ पाणी धरूनही न फुटण्याइतका तो कागद मजबूत आहे अर्थात तो कशावरतरी आपटला तर मात्र फुटतो आणि पाणी बाहेर साडते आता जर वर्तमानपत्राच्या संपूर्ण पानाचा डबा बनवला तर त्यात पुष्कळ पाणी मावेल पण तो ते फारवेळ धरू

शकणार नाही पाणी भरून जरा इकडे तिकडे नेता येईल पण तो फेकणे शक्य होणार नाही फारतर तो तुम्ही उचीवरून खाली टाकू शकाल

त्याच प्रमाणे द्रवाचे अशक्त आवरण पुष्कळ द्रवाला गोलाकार देऊ शकणार नाही पण थोड्या द्रवाला मात्र ते आवरण पूर्ण गोलाकार देऊ शकते त्याच्याकडे पाहून त्या गोलाकारात जरासुद्धा चूक काढता येणार नाही पारा घेतला तर हे आपल्याला सहज पाहता येईल पारा जास्त असेल तर चपटा गोल होऊन पडतो, पण जरा जोराने धक्का देऊन तो टेबलावर फेकला तर

त्याचे बारीक बारीक तुकडे होतात आणि ते कसे पूर्ण गोल दिसतात पहा ह्या पडद्यावर सोन्याचे मणी आहेत त्यातला फरक पहा मोठा मणी त्याच्या वजनामुळे चपटा झाला असला तरी लहान मणी गोल दिसत आहे आता ते घन स्थितीत आहेत पण ते वितळलेल्या स्थितीत असताना धक्का न लावता थड होऊ दिले आहेत मोठा मणी त्याच्या वजनामुळे

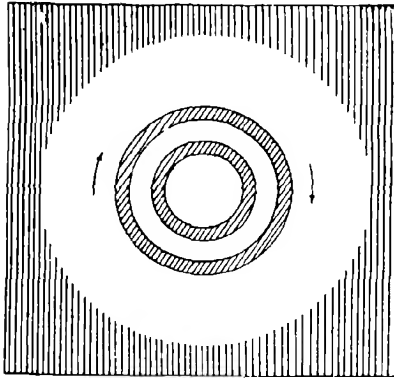


आकृती १६

चपटा झाला असला तरी लहान मणी गोल दिसतो आहे शेवटी हीच गोष्ट आपण पाण्याच्या बाबतीत बघू या टेबलावर थोडी लायसोपोडियमची पूड पसरा त्यावर पाणी शिपडले तर त्याचे लहान गोल झालेले दिसतील धुळीने भरलेल्या रस्त्यावर पाणी शिपडलेत तरी तुम्हाला हेच दिसून येईल

द्रवाच्या वजनामुळेच ते जमिनीकडे ओढले जातात हे वजन नसत ना, तर मग जास्त द्रवाचेही पूर्ण गोल झाले असते हे प्रथम प्लेटो या एका प्रयोगकाराने फार सुंदर रीतीने दाखवून दिले होते त्याने काय केले ? एकात एक न मिसळणारे दोन सारख्याच वजनाचे द्रव घेतले व एका द्रवात दुसरा

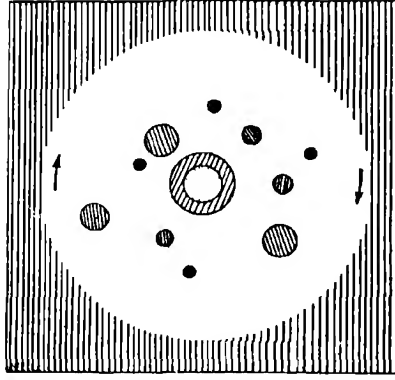
द्रव ठेवला अल्कोहोल तेलापेक्षा हलके असते आणि तेलापेक्षा पाणी जड असते तेलाच्या वजनाइतकेच पाणी आणि अल्कोहोल याचे मिश्रण घेतले म्हणजे या मिश्रणात तेल तरगणारही नाही की बुडणारही नाही काचेच्या या पेटीत मिश्रण घालून ती पेटी मी दिव्याच्या समोर ठेवली आहे आता नळीने मी तेलाला मिश्रणात सोडतो नळी काढून घेतली तेव्हा तेलाचा एक गोल झाला आहे पहा तो जवळजवळ आक्रीडाएवढा मोठा आहे तेलाचे दोन तीन गोल मिश्रणात दिसत आहेत, ते सर्व पूर्ण गोलाकार आहेत आता मी त्या गोलांना एका बाजूने धक्का देतो ते नीट पहा मोठे गोल सावकाश पुन्हा गोलाकार होतात आणि छोटे गोल पटकन पूर्ववत गोल होतात आपण ह्या उपकरणाच्या साहाय्याने एक सुंदर गोष्ट बघू शकतो ते दाखवण्यासाठी मी उपकरण तयार ठेवले आहे ह्या पेटीच्या मध्यात एक आस आहे त्याच्यावर एक गोल चकती आहे तिच्यावर मी तेल ओततो व ते तिथेच राहिल अशी व्यवस्था करतो ही चकती जर मी हळूहळू फिरवली ना तर तिच्यावरचे तेलही फिरेल मी चकतीचा वेग जसजसा वाढवेन तसे तेल सर्व दिशानी उडण्याचा प्रयत्न करू लागेल पण त्याचे आवरण त्याला धरून ठेवते त्यामुळे तेलाचा गोल वरच्या व खालच्या बाजूनी पृथ्वीच्या गोलासारखा चपटा होतो आता मी



आकृती १७

जर वेग आणखी वाढवला तर मात्र आवरणाला उडू पाहण्याच्या तेलाला आवर घालता येत नाही आणि त्याचा बागडीसारखा आकार होऊन ते सुटून जाते (आकृती १७) आणि वेग कमी झाल्याने लगेचच आकुचन पावून पुन्हा पहिल्या गोलाला जाऊन मिळते ही तबकडी मी जर आणखी वेगाने फिरवली तर त्या ककणाचे-रिंगचे - तुकडे तुकडे होऊन त्या तुकड्याचे

छोटे-मोठे गोलक होऊन जातील (आकृती १८) प्लेटोच्या या सुंदर प्रयोगाने आपल्याला आकाशातील ग्रह ताऱ्याची आठवण होते मध्यात एक मोठा गोलक आणि त्याच्याभोवती एकाच दिशेने फिरणारे वेगवेगळ्या आकाराचे (साइझचे) ग्रहगोल पण इथे लक्षात घेण्यासारखी गोष्ट म्हणजे ग्रहगोल आणि आपले तेलाचे



आकृती १८

गोल फिरण्याची कारणे अगदी वेगळी आहेत त्यामुळे तुम्हाला इथे जे दिसतय त्याचा सूर्य व ग्रहांशी काहीही संबंध नाही

आपण काय पाहिल ? द्रव जास्त असला तरी त्याच्या पृष्ठभागावरच्या कातडीमुळे त्याचा गोलाकार बनू शकतो, फक्त त्यासाठी वजनामुळे होणारा फरक समतोल करून टाकायला पाहिजे, मागच्या प्रयोगात आपण तस केल होत साबणाचे फुगे इतके पातळ असतात की त्यांना वजन असून नसल्यासारख असत म्हणून त्याचा तिथे काही उपद्रव होत नाही साबणाचा फुगा हा पूर्ण गोल असतो हे तुम्ही पाहिलच आहे, आता त्याच कारण कळल द्रवाचे लवचिक आवरण किंवा कातडी - कमीतकमी आकारात बसण्याचा प्रयत्न करत असते आणि कोणत्याही वस्तूला कमीत कमी पृष्ठभाग म्हणजे फक्त गोलाकारच असू शकतो इथे तुम्ही एक गोष्ट नीट लक्षात ठेवावी अस मला वाटत ती म्हणजे, 'जेव्हा मोठ्या गोलाला मी (लोकरीने किंवा बेझ^{२८}ने गुडाळलेल्या पट्टीने) धक्का दिला होता तेव्हा त्याचा आकार बिघडला होता, तो पूर्ववत झाला पण त्याला बराच वेळ लागला होता '

आज एवढे प्रयोग दाखवून तुम्हाला काय काय स्पष्ट करण्याचा मी प्रयत्न केला ?

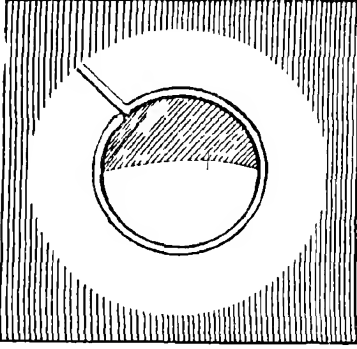
“कोणत्याही द्रवाचा बाह्यभाग हा एखाद्या लवचिक कातड्यासारखा किंवा आवरणासारखा वागतो ते आवरण काय करते ? तर द्रवाला आपल्यात सामावून शक्य तितक्या कमी जागेत बसवते द्रव पुष्कळ असला तर त्याच वजन त्या लवचिक कातड्याला झेपत नाही अशावेळी त्या आवरणाची शक्ती आपल्या लक्षात येत नाही त्या द्रवात मिसळणार नाही असा तितक्याच वजनाचा दुसरा द्रव घेऊन त्यात पहिला द्रव ठेवला तर त्याच्या वजनाचा परिणाम घालवून टाकला जाईल लहान थेंबाचे (गोलाचे) निरीक्षण केले किंवा फुगा फुगवला तर त्याचे वजन अति कमी असल्याने आपल्या लक्षात येत नाही पण त्याच्या बाह्यावरणात बरीच शक्ती असते ”



व्याख्यान दुसरे

मागच्या वेळी साबणाच्या फुग्याची कातडी कशी रबरासारखी लवचिक असते ते मी तुम्हाला प्रत्यक्ष प्रयोगाने दाखवले नव्हते

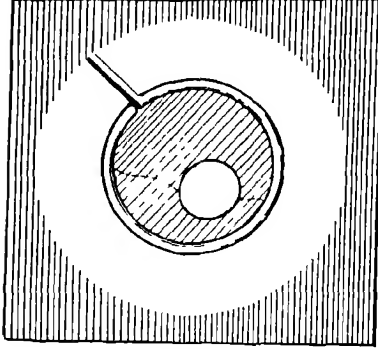
साबणाच्या फुग्याला द्रवाचे पातळ आवरण असते त्या आवरणाला बाहेरचा आणि आतला पृष्ठभाग असणारच ते दोन्ही लवचिक असतात हे आपल्याला अनेक मार्गांनी दाखवता येईल त्यातला एक सोपा मार्ग बघू एक रिंग घेऊन तिला सैलसर दोरा बाधला आणि ती रिंग साबणाच्या पाण्यात



आकृती १९

आकार म्हणजे एका पूर्ण वर्तुळाचा एक भाग आहे आणि रिंगमधली रिकामी जागा मोठी आहे आणि ज्या बाजूला साबणाचा पापुद्रा आहे ती बाजू शक्य तितकी लहान आहे आता ही दुसरी रिंग पहा हिच्या मध्यात दोरा दुहेरो आहे त्या दुहेरी दोन्यामधला साबणाचा पापुद्रा मोडला, तर दोन्हीकडचे दोरे दोन बाजूंना लगेच खेचले जातील आणि त्याच एक पूर्ण वर्तुळ बनेल

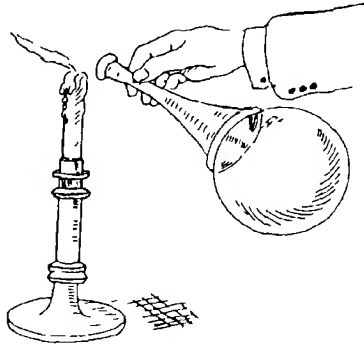
बुडवून काढली तर साबणाचा एक पातळ पापुद्रा रिंगवर चढलेला दिसेल रिंगला बाधलेला दोरा सहज इकडे तिकडे फिरतो तुम्ही ते पडद्यावर पहा दोन्याच्या एका बाजूचा पापुद्रा जर मी मोडला तर लगेच दुसऱ्या बाजूचा पापुद्रा दोन्याला शक्य होईल तितका ओढून घेतो आता तो ताणून बसला (आकृती १९) लक्ष देऊन पाहिलेत तर तुमच्या लक्षात येईल की ह्या दोन्याचा



आकृती २०

तो सहज फिरू शकतो कारण त्याच्या हालण्यामुळे त्या बाहेरच्या जागेच्या मापात काही फरक पडत नाही

आता या तारेच्या रिगवर मी एक साबणाचा फुगा फुगवला आहे त्याच्यावर एक लहानशी रिग अडकवतो

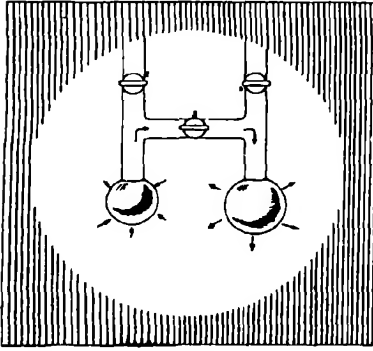


आकृती २१

(आकृती २०) कारण आत जितकी शक्य आहे तितकी जास्त जागा करण्याचा तोच एक आकार आहे आणि त्यामुळेच त्याच्या बाहेरच्या बाजूला शक्य तितकी कमी जागा सोडली गेली आहे आणखी एक गोष्ट तुम्ही बघितली का ? साबणाचा पापुद्रा नसलेला हा वर्तुळाकार आपला आकार बदलत नाही, पण रिगच्या आत

फुग्यात थोडा धूर भरतो आता आतल्या रिगमधला साबणाचा पापुद्रा तोडला की तुम्हाला धूर बाहेर पडताना दिसेल आणि त्याबरोबर रिग वर उचलली गेलेली दिसेल ह्या दोन्ही गोष्टी साबणाच्या पाण्याच्या कातडीचा लवचिकपणा दाखवणाऱ्या आहेत किवा आता मी एका रुद नळीतून फुगा फुगवला आणि नळीचे दुसरे टोक मेणबत्तीच्या ज्योतीपाशी धरले तेव्हा फुग्यातून बाहेर

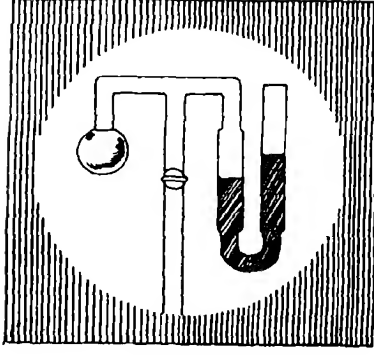
पडणाऱ्या हवेमुळे ज्योत विझली (आकृती २१) त्यावरून साबणाचा फुगा एखाद्या रबरी पिशवीसारखा वागतो आहे असे दिसून येते लवचिक पापुद्र्यामुळे फुग्यात दाबून भरलेली हवा सधी मिळाली की लगेच बाहेर येते आता सर्वात जास्त हवा कशात भरली जाईल, मोठ्या फुग्यात की लहान फुग्यात ? ते आपण शोधू या आणि त्याच कारण सांगता येत का ते बघू ह्या दोन नळ्या आहेत त्या प्रत्येकीला एकेक चावी (स्टॉपर) आहे त्या दोन्ही



आकृती २२

नळ्यांना जोडणारी एक तिसरी नळी आहे, तिलाही चावी आहे मी आता एका नळीतून फुगा फुगवतो व तिची चावी बंद करतो तसेच दुसऱ्या नळीतून फुगा फुगवतो आणि तिचीही चावी बंद करतो (आकृती २२) दोन्ही फुग्याच्या लहान-मोठेपणात फार फरक नाही पण एकातली हवा दुसऱ्यात जात नाही कारण त्यांना जोडणाऱ्या तिसऱ्या नळीची चावी बंद आहे मी जर ती चावी उघडली तर काय होईल ? मोठ्या फुग्यात अधिक दाबाने हवा भरली असेल तर त्यातली हवा लहान फुग्यात वाहून जाईल दोन्ही फुगे सारखे होईपर्यंत ती क्रिया चालेल लहान फुग्यात दाब अधिक असेल तर त्यातली हवा मोठ्या फुग्यात जाऊ लागेल आणि त्याचा आकार आणखीच लहान होईल आता ते प्रयोग करूनच पाहू मी दोन्हीच्या मधल्या नळीची चावी खोलतो, लगेच लहान फुग्यातली हवा मोठ्या फुग्यात वाहून जायला लागली, पहा लहान फुगा जवळ जवळ मिटून गेला याचा अर्थ लहान फुग्यात मोठ्या फुग्यापेक्षा अधिक दाब होता आकृतीत हवा आणि फुगे कोणत्या दिशेने हालतात ते दाखविले आहे त्याच्यावर बरच काही अवलंबून आहे हे तुम्ही नोट घ्यानात घ्या ही गोष्ट तुमच्या चांगली लक्षात राहावी म्हणून मी तेच दुसऱ्या रीतीने दाखवतो ह्या

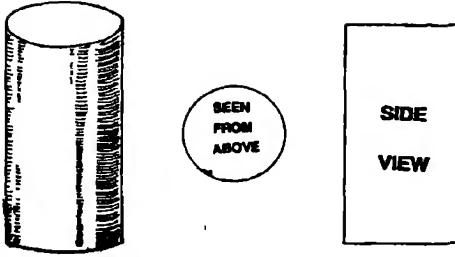
नळ्यांना जोडणारी एक तिसरी नळी आहे, तिलाही चावी आहे मी आता एका नळीतून फुगा फुगवतो व तिची चावी बंद करतो तसेच दुसऱ्या नळीतून फुगा फुगवतो आणि तिचीही चावी बंद करतो (आकृती २२) दोन्ही फुग्याच्या लहान-मोठेपणात फार फरक नाही पण एकातली हवा दुसऱ्यात जात नाही कारण त्यांना जोडणाऱ्या तिसऱ्या नळीची चावी बंद आहे मी जर ती चावी उघडली तर काय



आकृती २३

दिव्यासमोर एक अर्धवट पाण्याने भरलेली U च्या आकाराची नळी आहे, तिच्यात पाणी आहे नळीच टोक दुसऱ्या एका नळीला जोडलय, तिच्यातून फुगा फुगवता येतो (आकृती २३) फुगा मोठा होत जातो तसा आतला दाब कसा बदलतो हे तुम्हाला पाहता येईल कारण दाब वाढला की पाणी अधिक सरकवले जाईल आणि दाब कमी

होईल तसे पाणी कमी सरकवले जाईल आता इथे अगदी छोटासा फुगा आहे, त्यातला दाब पाण्याच्या साहाय्याने मोजला तर सुमारे पाव इंच इतका आहे फुगा वाढू लागला तसे पाणी दाब कमी दाखवू लागले आहे फुगा पहिल्यापेक्षा जवळ-जवळ दुप्पट झाला तेव्हा दाब पहिल्यापेक्षा अर्धा झाला फुगा जेवढा लहान तेवढा त्यातील दाब अधिक फुगा कोणत्याही आकाराचा (साईझ) असला तरी त्याच्या कातड्यावर दाब सगळीकडून सारखा पडतो व ती ताणली जाते आतला दाब हा त्या कातड्याच्या वक्रपणावर अवलंबून असतो हे स्पष्ट आहे वर्तुळाच्या बाबतीत आपण काय पाहतो ? जेवढे वर्तुळ मोठे तेवढी त्याच्या परिघाची वक्रता कमी असते लहान वर्तुळाची कड खूपच वक्र असते आणि मोठ्या वर्तुळाची कड किंचितशी वक्र दिसते फार मोठ्या वर्तुळाचा कस पाहिला तर त्याची वक्रता जाणवतच नाही तो एखाद्या सरळ रेषेसारखाच दिसतो चेडूच्या बाबतीतही तेच होत जेवढा चेडू मोठा तेवढी त्याच्या पृष्ठभागाची वक्रता कमी आणि त्याचा व्यास जर ८००० मैल असेल तर ? तर त्याच्या कडेचा कोणताही भाग हा सरळ रेषेपेक्षा काही वेगळा आहे अस वाटणार नाही पाणी हे त्या पृष्ठभागाचा एक भाग असतो आणि जरी भाड्यातले पाणी सपाट असते हे आपल्याला माहीत असते तरी मोठे सरोवर किंवा समुद्राचा पृष्ठभाग वाकलेला आहे हेही आपण पाहू शकतो आपण पाहिले की, मोठ्या फुग्यात दाब कमी आणि वक्रताही कमी आणि

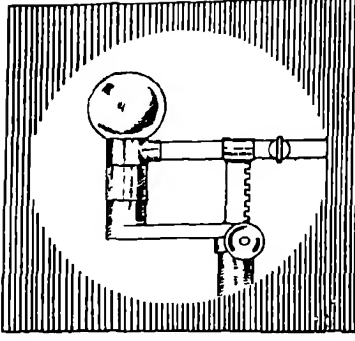


लहान फुग्यात दाब अधिक आणि वक्रताही अधिक तेव्हा दाब आणि वक्रता एकाच वेळी कमी किंवा जास्त होतात एका फुग्याने दुसऱ्या फुग्याला मिटवून टाकण्याच्या प्रयोगाने हे आपण शिकलो

आकृती २४

साबणाच्या फुग्याला

फक्त गोलकाचा^{२९} आकार देता येतो अस मात्र नाही हा फुगा जर दोन रिगाच्या मध्ये धरला, तर त्याला ताणून नळकाड्यासारखा किंवा दडगोलाचा^{३०} आकार देता येतो मघाशी आपण गोलकाच्या वक्रतेबद्दल बोलत होतो, आता दडगोलाची वक्रता कोणती धरायची ? एक दडगोलाकार ठोकळा टेबलावर ठेवून बाजूने बघितला (आकृती २४) तर त्याची कड एका सरळ रेषेसारखी दिसते त्यात वक्रता दिसतच नाही आणि वरून बघितला तर तो वर्तुळाकार दिसतो आणि तेथे त्याला निश्चित वक्रता दिसते मग दडगोलाची वक्रता कोणती धरायची ? फुग्यातला दाब त्याच्या वक्रतेवर अवलंबून असतो असे आपण शिकलो आहोत त्याकरता फुगा गोलकासारखा असावा लागतो असे नाही कोणताही आकार असला तरी ते सत्य आहे दडगोलाकृती फुग्यातल्या इतका दाब असण्याकरता केवढा गोलक पाहिजे हे जर आपण तपासले तर दडगोलाची वक्रता ही गोलकाच्या वक्रतेइतकीच आहे हे आपल्याला समजेल आता एका छोट्या नळीच्या दोन्ही टोकाशी मी एकेक फुगा फुगवतो खालच्या बाजूचा फुगा दुसऱ्या नळीने ओढून त्याला दडगोलाचा आकार देतो त्याच्या बाजू अगदी सरळ व्हाव्यात म्हणून त्याच्यात थोडी हवा भरतो ह्या दोन्ही फुग्याच्या मधली हवा इकडून तिकडे जायला मार्ग आहे, अस असूनही दोन्ही फुगे तसेच राहिले आहेत (आकृती २५) याचा अर्थ दोन्ही फुग्यात सारखाच दाब असला पाहिजे



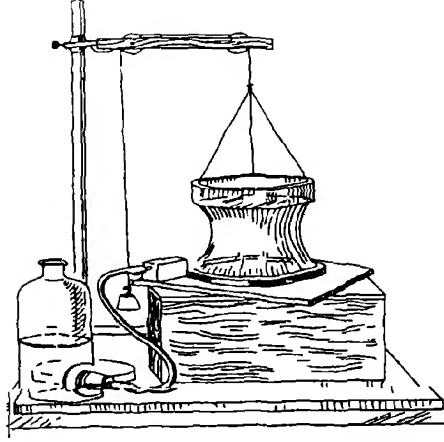
आकृती २५

दोन्ही फुग्याची मापे तपासली तर गोलकाकार फुग्याचा व्यास दडगोलाकृती फुग्याच्या व्यासापेक्षा दुप्पट आहे अस दिसून येईल म्हणजे ह्या दडगोलाची वक्रता ही त्याच्या दुप्पट व्यास असलेल्या गोलकाच्या वक्रतेइतकी आहे आणि आता आपल्याला माहीत आहे की ह्या दडगोलाकार फुग्याची वक्रता ह्या मोठ्या गोलकाकार (चेडूसारखा) फुग्याइतकी आहे कारण दोन्हीचा

समतोल आहे पण दडगोलाकार फुग्याइतका व्यास असलेला गोलकाकार फुगा घेतला तर त्या फुग्याच्या वक्रतेच्या अर्धी वक्रता दडगोलाकाराची असेल, आणि तसाच दाबही निम्माच असेल

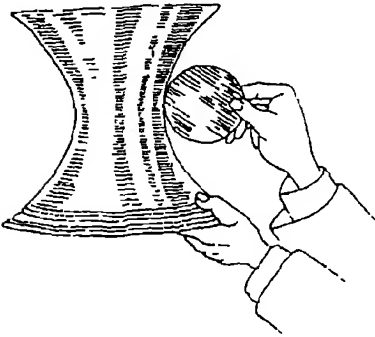
वक्रतेचा मुद्दा समजावून देण्यासाठी मी आणखी एक प्रयत्न करतो आता दडगोलाकार आणि गोलकाकार फुगे समतोल आहेत पण मी गोल फुग्यात आणखी हवा भरतो आणि त्याला मोठा करतो दडगोलाला काय होत ? आधीच बुटका असलेला तो दडगोलही फुगेल की आणखी काही होईल ? हा गोलकाकार फुगा फुगू लागला, तसा त्यातला दाब कमी होऊ लागला इकडे दडगोल उच झाला नाही पण तो मध्यात अरुद झाला म्हणजे त्याची वक्रता बाहेरच्या बाजूला होती ती आता आतल्या बाजूला आली आहे जसजसा मी हा गोलकाकार फुगा फुगवत मोठा करत जाईन तसतशा दडगोलाकार फुग्याच्या बाजू आत आवळल्या जातील आणि जर मी तो गोल फुगा फारच मोठा फुगवला तर त्यातला दाब अगदी कमी होईल आणि आपण तो फोडून टाकला तर त्यातला दाब नाहीसाच होईल हाच प्रयोग आणखी मोठ्या प्रमाणावर मी पुन्हा एकदा करतो माझ्याजवळ ह्या मोठ्याशा काचेच्या दोन रिगा आहेत त्या दोन्हीच्या मध्ये मी साबणाचे पाणी ताणून धरतो इथेही साबणाचे आवरण मध्ये आवळले गेले आहे आणि त्याचा

आकार मघाच्या
दडगोलाकार छोट्या
फुग्यासारखाच झाला
आहे इथे दाब नाही
तरी मध्ये आवळला गेला
आहे साबणाच्या
आवरणाकडे पाहून कोण
म्हणेल की ते वक्र नाही ?
आणि तरीही आपण
खात्रीपूर्वक म्हणत होतो
की दाब आणि वक्रता
बरोबरच कमी किंवा
जास्त होतात म्हणजे
आपण एका निरर्थक
निर्णयाला आलो होतो



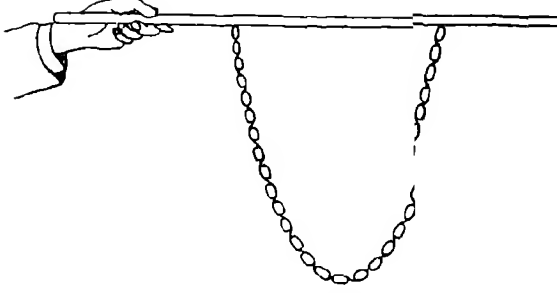
आकृती २६

का ? कारण दाब जर अगदी नसल्याइतका असेल तर ही वक्रता यायला
नको होती आणि वक्रता तर आहे आणि तीही अगदी स्पष्ट आहे



आकृती २७

आता ह्या टेबलावर
एक प्लॅस्टरच प्रारूप आहे
ह्या गणितातल्या
प्रारूपालाही मध्ये अरुंद
कबर आहे त्याचे जरा
बारकाईने निरीक्षण
करू या माझ्याजवळ
पुठ्याची चकती आहे
तिचा व्यास ह्या प्रारूपाच्या
कबरेच्या मध्यातल्या
व्यासाइतका आहे मी

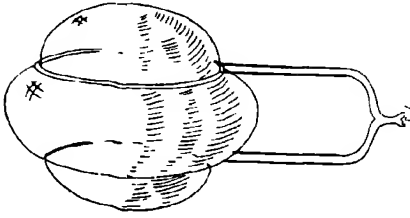


आकृती २८

ती चकती त्या प्रारूपाच्या कबरेच्या कडेला लालो (आकृती २७) ती चकती ह्या प्रारूपाच्या मधल्या संपूर्ण वक्रभागाव चपखल बसत नाही पण कबरेच्या भागाच्या जवळ मात्र तिचा उकार बरोबर जमतो आहे ह्याच्यावरून काय दिसत ? बाजूने बघितल त तो भाग आत वळलेला आहे पण तेच वरच्या बाजूने बघू शकलो तर तो भागाचा प्रमाणात बाहेर वळलेला दिसेल आपण फक्त कबरेच्या भागाच्या बातीत विचार करूया, तो भाग आतल्या बाजूला वळला आहे आणि आतल्या गापासून दूरही वळला आहे, अगदी त्याच प्रमाणात आत गेलेल्या वक्रतेकडे आतला दाब कमी होईल, आणि बाहेरच्या बाजूच्या वक्रतेमुळे तिथला दाबाढल आणि ते दोन्ही सारखे आहेत म्हणून समतोलही आहेत, त्यामुळे थें दाब नाही आहे अशाच प्रकाराने आपण मध्ये अरुढ झालेल्या साबणाच्या फुग्याचे निरिक्षण केले हे फक्त कबरेच्या बाबतीतच नाही तर फुग्याचा प्रत्येक भागाच्या बाबतीत खरे आहे दोन्ही बाजूना सारख्याच प्रमाणात वक्र असलेला कोणताही पृष्ठभाग हा वक्रता नसलेला पृष्ठभाग म्हण ओळखला जातो त्यामुळे मधाशी जो निर्णय निरर्थक वाटला, तो गाता स्पष्ट झाला आपल्या अक्षाभोवती सममिती (किंवा सारख्या) अशाच्या पृष्ठभागापैकी हा एक आहे (ह्याला फक्त सपाट पृष्ठभागाचा अपवाद आहे), त्याला कॅटेनॉइड म्हणतात कारण तो एखाद्या साखळीसारखा असतो लॅटिनमध्ये साखळीला कॅटेना म्हणतात आता मी एक साखळी काढला आकृतीत दाखवल्याप्रमाणे

अडकवतो तुम्हाला नीट दिसाव म्हणून त्याच्यावर झगमगीत प्रकाश टाकतो (आकृती २८) दोन रिगाच्या मध्ये ओढून काढलेल्या फुग्याच्या बाजूसारखाच हा आकार आहे (वाचकाना हे भूमितीय संबंध समजायला जड जात असेल तर त्यानी पुढची काही पाने गाळून पुढे * या चिन्हापासून वाचावे)

आता आपण दोन रिगा घेऊ एक फुगा त्या दोन्हीच्या मध्यात ठेवून त्याच्यावरचा दाब हळूहळू बदलत राहू त्या आवरणाच्या त्या त्या भागाकडे पाहून दाब काय आहे ते सहज सांगता येईल एकेका रिगेवर फुग्याचा दाबलेला भाग एखाद्या टोपीसारखा बसला आहे तो एका गोलकाचाच भाग



आकृती २९

असला पाहिजे या भागाची वक्रता आणि आतला दाब एकाचवेळी कमी अधिक होतात हे आपल्याला माहीत आहे आता दोन रिगाच्यात आपण फुगा असा पकडू या की तो बरोबर गोलकासारखा झाला पाहिजे मी त्यात आणखी हवा भरली तर त्या टोप्या अधिक फुगतात आतला दाब वाढल्याच

दर्शवतात आणि फुगा मधल्या भागात गोलकाहून अधिक वाकल्याच दिसत (आकृती २९) आता मी त्या फुग्याला पुन्हा गोलकाच्या आकारात आणतो थोडा दाब वाढला की टोप्याची वक्रता वाढते आणि मधल्या बाजू अधिक फुगतात दाब कमी झाला की टोप्या चपल्या होतात आणि मधल्या फुग्याच्या बाजूचा फुगीरपणाही कमी होतो आता बाजू सरळ आहेत, आणि टोप्या ? त्या गोलकाचा भाग बनल्या आहेत आणि त्या गोलकाचा व्यास हा दडगोलाच्या व्यासाच्या दुप्पट असेल हे मघाशी आपण पाहिल आहे मी दाब कमी कमी करत जातो, इतका कमी की टोप्यांना वक्रताच राहिली नाही, त्या सपाट झाल्या म्हणजे आता आतमध्ये दाब राहिलाच नाही त्यामुळे बाजूनी लोबणाऱ्या साखळीचा आकार घेतला हेही आपण मघाशी पाहिले आहे

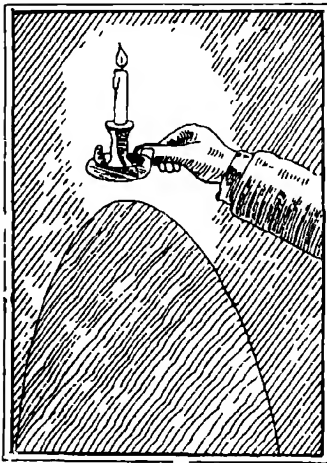
शेवटी आतला दाब हा बाहेरच्या दाबाहून कमी झाला आहे टोप्या आत वळल्या आणि मधल्या बाजूही आत गेल्या तिथे मध्यभागात कबर आली आणि ती साखळीपेक्षाही लहान आहे आतापर्यंत मी जसा दाब कमी करत गेलो तसे वेगवेगळे सात वक्रभाग आपल्याला दिसले, ते असे

- १ गोलकाच्या बाहेरचा
- २ गोलकाचा
- ३ दडगोल आणि गोलकाच्या मधला
- ४ दडगोलाचा
- ५ दडगोल आणि कॅटेनॉईड याच्या मधला
- ६ कॅटेनॉईड
- ७ कॅटेनॉईडच्या आतला

या वक्रभागाविषयी मी आता काही बोलणार नाही पण त्याचे काही विशेष गुणधर्म मात्र सांगणार आहे पहिल्या प्रथम टोपी म्हणजे एका गोलकाचा भाग आहे व त्यात कुठेही वक्रता असल्या तरी त्या सर्व सारख्याच असल्या पाहिजेत दुसरे ते सर्व वक्रभाग कमीत कमी पृष्ठभागावरच सामावले असले पाहिजेत, म्हणजे त्यात हवाही राहील आणि तरी तो रिगाना जोडलेला असेल ते सर्व वक्र भाग एकमेकापासून वेगळे असूनही दाब जसा कमी होत जातो तशी बाह्यवक्रता सहजी अतर्वक्रतेत बदलते त्यावरून त्याच्यात काही विशिष्ट प्रकारचा घनिष्ठ सबंध असला पाहिजे हे समजावून सांगणे कठीण आहे तरी मी प्रयत्न करणार आहे मी जर तुम्हाला सांगितल की हे सर्व वक्रभाग म्हणजे शकूच्या छेदावरची चक्रे आहेत तर तुम्हाला आश्चर्य वाटेल आणि काही लक्षातही येणार नाही त्याकरता मी ते वेगळ्या पद्धतीने सांगतो मी एक प्रयोग करून दाखवतो तो पाहून तुम्हाला थोड काही लक्षात येईल तो प्रयोग तुम्ही घरी करून पाहू शकाल

माझ्याजवळ ही एक मेणबत्ती आहे ती एका वर्तुळाकार सपाट तबकडीवर उभी आहे ही मेणबत्ती पाढऱ्या भितीजवळ अगदी सरळ उभी धरतो

जर्तुळाकार सपाट तबकडीची सावली भितीवर पडलेली दिसेल सावलीची



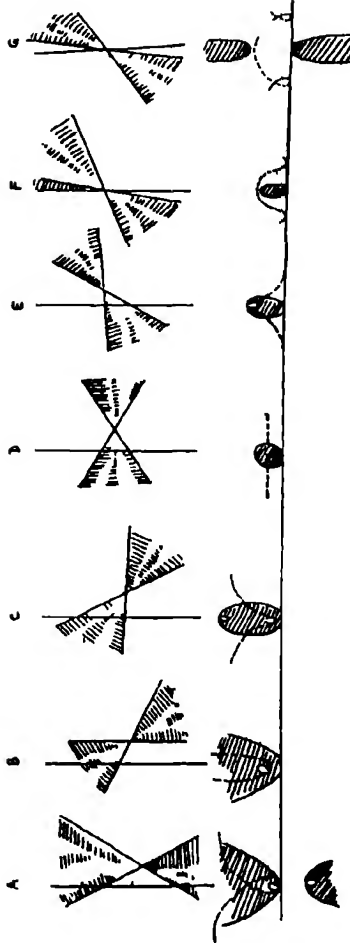
कड एकसारख्या हायपरबोलासारखी आहे आता हळूहळू मेणबत्ती भितीपासून दूर जाईल अशी तिरकी करा सावलीतील फरक नीट बघा मेणबत्तीची ज्योत जेव्हा बरोबर तबकडीच्या कडेवर येईल, तेव्हा तुम्हाला फरक कळेलच कारण मेण आधी तबकडीवर आणि नंतर खालच्या जमिनीवर किंवा त्यावरच्या गालिच्यावर पडू लागेल आता तसच झालाय पहा पण सावली कशी झाली आहे ? जमिनीजवळ तिच्या कडा जवळ-जवळ समांतर झाल्या आहेत (आकृती ३०) सावलीची कड आता पॅराबोलासारखी झाली आहे मेणबत्ती आणखी वाकडी केली तर मेण ताटलीवर न पडता थेट जमिनीवर गळू लागेल

आकृती ३०

आता मात्र सावलीची कड वळून भितीवर एकत्र आली आहे आणि आकृती लववर्तुळाकार झाली आहे दोन्ही टोके सारखी आहेत हे सोडले तर ह्या आकृतीला विवृत्त (एलिप्स) म्हणतात मेणबत्ती आणखी तिरकी करत गेलो आणि मेणबत्ती आडवी झाली तर मेण साडत राहील व तबकडीची सावली जवळ-जवळ वर्तुळाकार होईल ज्योत भडकली नाही तर तबकडीची सावली पूर्ण वर्तुळाकार होईल मेणबत्ती अशीच तिरकी करत गेलो आणि शेवटी ती उलटी झाली तर आत्तापर्यंतच्या सावल्याच आपल्याला उलट्या क्रमाने पहायला मिळतील फक्त इतका वेळ खाली पडणाऱ्या सावल्या आता वर दिसतील

आता तुम्ही म्हणाल या सगळ्याचा साबणाच्या फुग्याशी काय संबंध ? एका क्षणात त्याचे उत्तर देतो मेणबत्ती पेटवली की तिच्या खालच्या

तबकडीच्या मागची जागा अधारात जाते ह्या अधान्या जागेचा आकार



आकृती ३१

बरोबर तबकडीसारखा वर्तुळाकार होतो तुम्ही ज्योतीपासून दूर जाल तर त्याचा आकार मोठा होत जाईल तो खर तर या टेबलावरच्या शकूच्या प्रारूपासारखा शकू आहे भितीवर पडणारी सावली म्हणजे या शकूच्या आतील एका प्रतलाचाच भाग आहे या शकूला जर तुम्ही कापलत तर तसाच आकार सापडेल आणि म्हणून मी जे वक्रभाग तुम्हाला दाखवले त्यांना शकूचे छेद म्हणतात टेबलावरच्या या लाकडी प्रारूपामध्ये त्यापैकी काही तुम्ही सरळच पाहू शकता आता भितीवरच्या आकृतीकडे (आकृती क्र ३१) पाहिलत, तर डावीकडच्या पहिल्या ठिकाणी (अ) सरळ शकू दिसतो आणि मग हळू हळू तो तिरपा होत जाऊन मी मघाशी सांगितलेल्या वेगवेगळ्या प्रकारचे आकार दिसतील प्रत्येक ठिकाणी जी उभी रेघ दिसते आहे ती शकू कुठून कापला गेला आहे ते दाखवते आणि खाली जी आकृती आहे तो सावलीचा खरा आकार आहे म्हणजे शकू जिथे कापला गेला आहे तिथल्या प्रतलाचा आकार आहे प्रत्येक

आकृतीत एक किंवा दोन बिंदू दिसत आहेत त्या प्रत्येकाला केद्रबिंदू म्हणतात ते स्पष्ट दिसतील अशा ठिपक्यानी दाखवलेले आहेत या सर्व आकृत्यातील 'ड' आकृती पूर्ण वर्तुळाकार आहे त्यातील केद्रबिंदूच्या ठिकाणी एक पेन्सिल खोवून आपण ते वर्तुळ (कापून) खालच्या ठळक रेघेवरून चाकासारखे फिरवले तर पेन्सिलीने उमटलेली रेघ ही खालच्या रेघेसारखी सरळ असेल (वर्तुळातून ती गेलेली दिसते आहे) ती ठिपक्या-ठिपक्यानी दाखवली आहे आता या आकृतीतील प्रत्येक सेक्शनच्या आकृतीप्रमाणे आकार कापून त्याच्या प्रत्येकाच्या मध्यात पेन्सिल खोवून जर ते चाकासारखे खालच्या रेघेवरून फिरवली, तर उमटलेली रेघ सरळ निश्चितच असणार नाही ती रेषा कशी असेल हे आपल्याला लगेच सांगता येणार नाही पहिल्यादा लंबवर्तुळाकार आकृत्या (क,इ किंवा फ) घेऊया या पूर्ण वर्तुळाच्या एकेका बाजूला आहेत त्यांना चाके मानून जर खालच्या ठळक काळ्या रेघेवरून फिरवले तर त्यात खोचलेली पेन्सिलही खाली वर सरकत राहिल उमटणारी रेघ ही त्या त्या ठिकाणी दाखवलेल्या ठिपक्या-ठिपक्याच्या रेघेच्या आकारात उठेल इतर वक्रभागही जर च. के असते आणि त्यानाही आपण त्या खालच्या रेघेवरून फिरवले तर उमटणाऱ्या रेघाचे आकार ठिपक्याच्या रेघेप्रमाणे असतील

शकूच्या कापलेल्या आकाराचा साबणाच्या फुग्याशी काय संबंध आहे ते आपल्याला समजायला लागलय अस म्हणायला हरकत नाही दोन रिंगामध्ये जेव्हा साबणाचा फुगा आपण फुगवला तेव्हा आतला दाब वेगवेगळा होता, फुग्याच्या बाहेरच्या कडेने अनेक आकार घेतले होते त्यातलेच काही आकृतीच्या खालच्या भागात ठिपक्यानी काढले होते पण त्या प्रत्येकाचा अचूक आकार बघायचा झाल्यास त्या त्या आकाराच्या केद्रबिंदूत पेन्सिल ठेवून तो सरळ रेषेवरून फिरवावा लागेल फुग्याच्या एका स्वरूपाला मी कॅटेनॉइड म्हटलं होतं, आठवत ? जेव्हा दाब अजिबात नसतो तेव्हा असा आकार होतो 'ब' आकृतीतला ठिपक्या-ठिपक्याचा वक्रभाग हाच आकार दाखवतो आता कॅटेनरी आकार कसा काढता येईल ? त्याला जुळता आकार म्हणजे पॅराबोलाचा आकार, एका पुढ्यावर कापून घेऊन तो सरळ कडेवरून

फिरवतो त्याच्या केद्रस्थानी बाधलेल्या खड्डूमुळे फळ्यावर आकार उठेल आता खड्डूमुळे उमटलेला आकार कसा आहे ? दोन खिळ्यावर साखळीची दोन टोके अडकवून साखळी टागली, तर जो आकार होतो तोच याचा आकार आहे आता प्रत्यक्ष अडकवलेली साखळी ततोतत खड्डूच्या रेघेप्रमाणे आहे

हे सर्व कळायला खूप अवघड आहे पण सावणाचा फुगा जे वेगवेगळे आकार घेतो ते म्हणजे 'सातत्य' या एका महत्त्वाच्या तत्वाचे एक सुंदर उदाहरण आहे, म्हणून ते तुम्हाला सांगितल्याशिवाय मला पुढे जाववेना रिंगाच्या एका जोडीतून फुकर मारून एकातून एक अशी अनेक फुग्याची माळच काढता येईल दाब वेगळे असतील त्यानुरूप वक्रभागही वेगळे होतील त्यात फुकर मारताना दाब हळू हळू सतत बदलत असतो त्यामुळे वक्रभाग वेगवेगळे असले तरी ते वेगळ्या प्रकारचे असू शकणार नाहीत ते सर्व वक्रभाग वेगळे असले तरी ते एकातून एक सावकाश व सातत्याने निघत राहतात फुग्याचे हे वक्रभाग आपल्याला रेखाटता येतात शकूला छेद देऊन तेथील विविध विभागाची चाके जर सरळ रेघेवरून फिरवली तर ते आकार उमटतात याचा अर्थ असा

शकूवरील वक्रभाग एकमेकाहून भिन्न असले तरी ते सावकाश आणि सातत्याने एकातून एक निघत राहतात मेणबत्ती तिरपी करत गेलो तेव्हा एका वक्रभागातून दुसरा निघत गेला जेव्हा शकूची एक बाजू छेदाच्या प्रतलाला समांतर होती - म्हणजे मेणबत्तीतून ओघळणारे मेण तबकडीच्या कडेला नुसत टेकून मग खाली गळत होत, तेव्हा सावलीत एक पॅराबोला दिसत होता. म्हणजेच तिथे दाब नसलेला एक फुगा म्हणजे कॅटेनॉइड होता फिरणाऱ्या पॅराबोलाने तोच आकार रेखाटला होता. शकू जसा अधिक तिरपा होत गेला तसे शकूचे विभाग आधी लंबवर्तुळाकार झाले, मग गोल होत होत शेवटी पूर्ण वर्तुळाकार झाले, त्यानंतर आधिक अरुंद होत गेले व शेवटी त्याची एक रेघ झाली

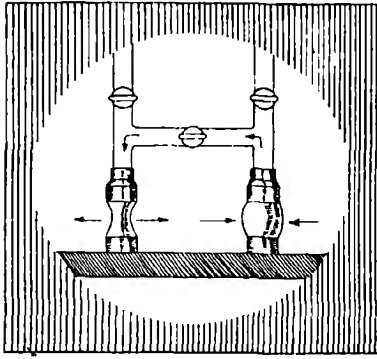
त्यांना मिळते-जुळते फुग्याचे वक्रभाग हळूहळू दाब वाढवत गेल्याने मिळतात आकृतीत दाखवल्याप्रमाणे हे फुग्याचे वक्रभाग प्रथम नागमोडी

(क) असतात, मग सरळ होऊन त्याचा ः दडगोलाकार होतो (ड), पुन्हा नागमोडी होऊन (इ आणि फ) शेवटी प्रतल कागपून म्हणजे वरच्या आकृतीतली काळी रेघ शकूच्या वरच्या कोनातून जाते, आणि तेव्हा या नागमोडी वळणाची लहान-लहान अर्धवर्तुळे होत जातात व रसाबणाच्या फुग्याचा गोलाकार दाखवतात आता शकू आणखी थोडासा ज़ररी तिरपा झाला तरी एक नवा आकार दृष्टीस पडतो (ग) हा जर मी असाच फिरवत गेलो, तर आत एक वळसा असलेला वेगळाच वक्रभाग तयार होईल हे कसे होते ते सांगायला एक लाबलचक स्पष्टीकरण लागेल तसेच आणखी फिरवत राहून त्यानंतरचे वक्र आकार मिळवायला आणि शकूच्या वेगवेगळ्या स्थिती शोधून काढायलाही खूप वेळ लागेल पण आकृतीचे बारकाईने निरीक्षण केले, तरी पुढे कसे आकार होतील ते तुम्हाला समजू शकेल एक गोष्ट स्पष्ट केली पाहिजे आकृती क्र ३१ मध्ये खालच्या बाजूला जी सरळ रेघ आहे ती 'अक्ष' धरून त्याच्या भोवती ठिपक्याच्या रेघा उजर फिरवल्या तर आपल्याला फुग्याचे पृष्ठभाग मिळवता येतात

कितीही प्रयत्न केला तरी एका वेळी साबणाच्या फुग्याने तुम्ही यापैकी कोणत्याही वक्रभागाची मोठी लांबी मिळवू शकत नाही पण तारेच्या रिंगा किंवा एक नळी आणि थोडा साबण व पाणी याच्या साहाय्याने आपण या वक्रभागाचे तुकडे सहज मिळवू शकतो, ते तुमच्या लवकरच लक्षात येईल ३१ व्या आकृतीतल्या 'अ' भागाच्या ठिपक्या-ठिपक्यानी काढलेल्या वक्रभागाचा एक संपूर्ण 'वळसा' (लूप) आपण पाहू शकतो त्याला 'नोडॉइड' म्हणतात तो स्थिर नसल्याने पूर्ण रिंग असू शकत नाही पण तशा रिंगचा एक भाग नक्कीच असतो तारेचा एक तुकडा घ्या, त्याच्या एका टोकाला जस्ताचा एक तुकडा बांधा म्हणजे तो बशीत सरळ उभा राहील बशीत साबण व पाणी घाला तावदानासारखी एक काच रसाबणाच्या पाण्याने ओली करा व तारेचे टोक मध्यावर टेकेल अशी धरा तार बुडली आहे तिथे साबणाच्या पाण्यावर फुकर मारून फुगा काढा, हा फुगा वरच्या काचेला टेकल्याबरोबर फुग्याचा आकार दडगोलासारखा होईल आणि संपूर्ण वर्तुळाकारात तो फुगा काचेला मिळेल आता अगदी हळूच काच तिरपी करा फुगा लगेच काचेच्या

खाली झालेल्या बाजूकडे वळेल आणि तारेपासून दूर जाण्याचा प्रयत्न करेल तसे होताना त्याचा आकार नोडॉइड सारखा होईल पण आपली तार किंचित वाकलेली असेल तर खरा नोडॉइड सारखा होईल तिथे फुगा, साबणाच्या पाण्याचा पृष्ठभाग आणि काच या दोन्हीना काटकोनात मिळण्याचा प्रयत्न करेल हे सर्व मी तपशिलात सांगितले आहे कारण साबणाच्या फुग्याने नोडॉइडचा पूर्ण 'लूप' बनवता येतो, हे सर्वसाधारणपणे माहीत नसते

* बुटक्या दडगोलाकार फुग्याला जर मध्यात कबर येऊ लागली तर त्यातला दाब कमी होतो आणि दडगोल मध्यात फुगीर असला तर त्यातला दाब वाढत असतो, हे आपल्याला समजलय आता मध्ये चिचोळा झालेला

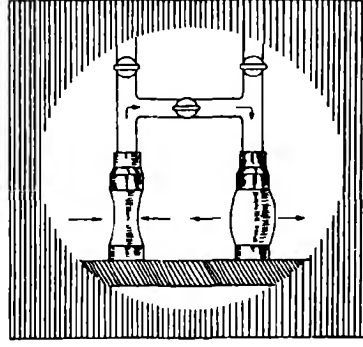


आकृती ३२

(कबर असलेला) आणि मध्ये फुगीर झालेला अशा दोन दडगोलाचा तोल साधण्याचा प्रयत्न करू या त्या दोन्हीच्या मधली चावी उघडली की लगेच फुगीर दडगोलातील हवा चिचोळ्या दडगोलाकडे वाहू लागेल आणि ते दोन्ही सरळ होऊन जातील आकृती क्र ३२ मध्ये हवेची हालचाल आणि फुग्याच्या बाजू कोणत्या दिशेने वळतात ते बाणानी दाखवले आहे ज्या फुग्याची लाबी (उची)

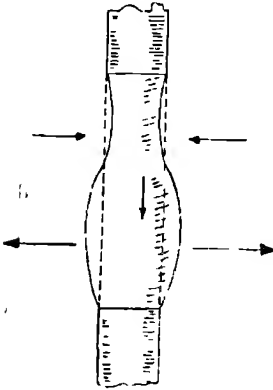
रुदीच्या जवळ-जवळ दुप्पट आहे अशा लाबट दडगोलाकृती फुग्यावर प्रयोग करू या तसे फुगे तयारच आहेत, एक मध्यात चिचोळा आणि दुसरा मध्यात फुगीर त्या दोन्हीमधली चावी उघडतो आणि हवा वाहू देतो ह्या ठिकाणी काय होते ? चिचोळ्या फुग्यातली हवा फुगीर फुग्याकडे वाहू लागली (आकृती क्र ३३) शेवटी चिचोळ्या फुग्यातली हवा सपली बुटक्या दडगोलाकार फुग्याच्या हे विरुद्ध झाले वेगवेगळ्या उचीच्या दडगोलाकार फुग्यावर प्रयोग करताना एक गोष्ट स्पष्ट होईल की, फुग्याची उची रुदीच्या दीडपटीपेक्षा किंचित अधिक झाली तरी बदल दिसून येतो या नळ्या

एकमेकीना जोडल्याची कल्पना करा आणि दडगोलाची उची रुदीच्या तिपटीपेक्षा अधिक झाल्याचे दिसेल तेव्हा मात्र तो आकार फार वेळ टिकू शकणार नाही कारण त्याचे एक टोक किंचितसे जरी आकुचन पावले ना, तरी तिथला दाब वाढणार आणि निमुळत्या टोकाची हवा रुद टोकाकडे वाहणार निमुळत्या टोकाच्या बाजू



आकृती ३३

चिकटेपर्यंत ती वाहत राहणार (आकृती क्र ३४) दडगोल स्थिर राहायला हवा असेल तर त्याची जास्तीत जास्त उची दडगोलाच्या व्यासाच्या तिपटीहून किंचित मोठी असेल उची जर त्याच्या परिघाइतकी झाली (म्हणजे व्यासाच्या २२/७ पट) की दडगोल अस्थिर होऊ लागतो



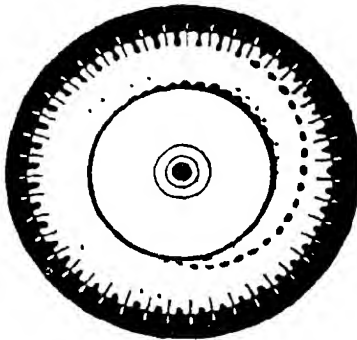
आकृती ३४

आता हवेचा पुरवठा चालू ठेवत मी हळूहळू रिंगा बाजूला काढतो नळी जेव्हा तिच्या रुदीच्या तिपटीहून थोडी जास्त होईल तेव्हा तिचा आकार टिकवून धरणे मुश्किल होईल एकाएकी एका टोकाजवळ ती चिचोळी होईल आणि तुटेल दोन असमान फुगे तयार होतील

तुमच्याकडे जर खूप लांबीचा कोणत्याही द्रवाचा फुगा असेल तर तो आपला आकार फार वेळ सभाळू शकत नाही तो फुटून त्याचे थेंबाच्या मालिकेत रूपांतर होते हे थेंब इतक्या वेगाने आकार बदलत जातात

की नुसत्या नजरेने त्या वेगवेगळ्या थेबाची हालचाल कुणी बघू शकत नाही पण मी ते कस घडत, हे तुम्हाला दोन-तीन प्रकारानी दाखवण्याचा प्रयत्न करणार आहे मागे आपण एका द्रवात दुसऱ्या द्रवाचा भलाथोरला थेब करण्याचा प्रयत्न केला होता, ते तुम्हाला आठवत का ? तस केल्यामुळे मोठ्या थेबाच वजन (द्रवात असल्याने) उचलल जात होत तसेच, मोठ्या थेबाची हालचाल किंवा त्यातील बदल हे लहान थेबाहून सावकाश होतात, म्हणून काय होतय ते बघण सहज शक्य होत माझ्याजवळच्या ह्या काचेच्या पेटीत निळ्या रंगाच पाणी आहे त्यावर पॅराफिन तरगत आहे पॅराफिन अधिक जड करण्याकरता त्यात उग्र वासाचा आणि असुरक्षित असा एक द्रव मिसळला आहे त्याला बायसल्फाइड ऑफ कार्बन^{३२} म्हणतात

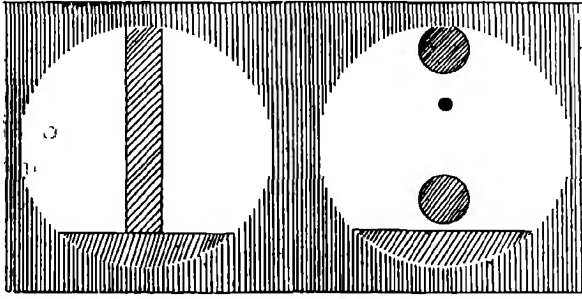
पाणी ह्या मिश्रणापेक्षा किंचितस जड आहे एक नळी ह्या पाण्यात बुडवून ती भरू दिली तर तिच्यात पाणी चढेल आणि हळू हळू पाण्याचे थेब बनू लागतील एकेक थेब शिलिंगा^{३३} एवढा मोठा झालाय प्रत्येक थेबाचा आकार (साइझ) पुरेसा मोठा झाला की तो वरच्या बाजूला चिचोळा होतो (म्हणजे त्याला मान येऊ लागते, असे म्हणू) हा थेब आपल्या मिश्रणात पडतो तेव्हा हीच मान लाबट (दडगोलाकार) होते थेब पडून गेला की ह्या मानेपाशीचा द्रवही थेबासारखा होऊन खाली टपकून जातो हे सगळ आता इतक



आकृती ३५

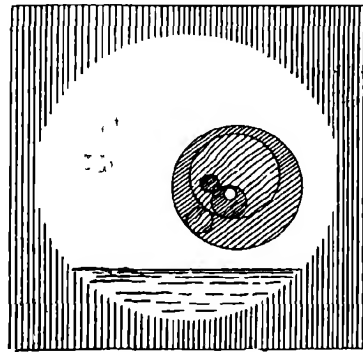
सावकाश होतय की तुम्ही प्रत्येक घटना बघू शकता आकृती क्र ३५ मध्ये थेबाचे सुरुवातीपासून ओळीने घेतलेले फोटो आहेत प्रत्येक १/२० सेकंदाला एकेक फोटो घेतलाय असा थेब साकारायला लागल्यापासून वाढून तो खाली पडेपर्यंतची ४३ दृश्ये ह्या फोटोत आहेत ह्या फोटोचा उपयोग काय हे तुम्हाला नंतर कळेल पुन्हा जर

मी नळीत पाणी भरू दिले आणि त्या वेळी नळी मिश्रणातून पटकन बाहेर काढली तर काय होते ? नळीमागोमाग पाण्याचा एक दडगोलच तयार होईल आणि मग त्याचे फुटून छोटे छोटे गोल तयार होतील. आकृती क्र ३६ मध्ये तुम्ही ते सहज पाहू शकता. माझ्याकडे हे उपकरण आहे. पॅराफिनच्या



आकृती ३६

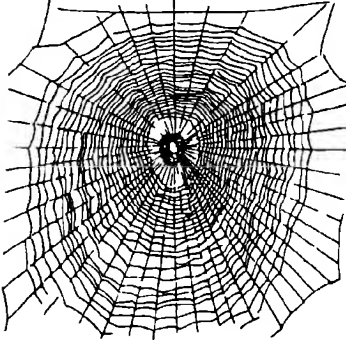
मिश्रणात आपण पॅराफिनमिश्रित पाण्याचे फुगे फुगवू शकतो. हे पहा काही फुगे त्याच्या आतमध्ये आणखी काही फुगे आहेत आणि काही (या किंवा त्या) द्रवाचे थेंबही आहेत. आपल्या पोटात इतर फुगे आणि थेंब घेऊन एक फुगा जड द्रवाच्या थरावर स्थिर झालेला आहे. तो तुम्ही नीटपणे बघू शकता (आकृती क्र ३७). बुडवलेली नळी जर मी पटकन बाहेर काढली तर प्रथम पॅराफिनमिश्रित पाण्याचा एक लांबट फुगा तयार होईल आणि हा पाण्याचा दडगोल फुटून त्याचे हळू हळू गोलक बनतील.



आकृती ३७

द्रवाचा मोठा दडगोल फुटून

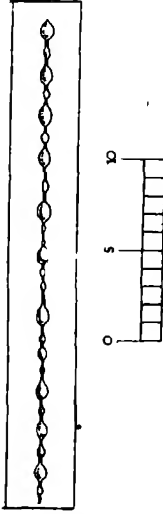
त्याचे सारखे गोलक होत राहतात हे मी दाखवले आता दुसऱ्या टोकाला जाऊन काय होते बघू या त्याकरता मी एक अगदी बारीकसा दडगोल घेतो



आकृती ३८

आकृती क्र ३८ मध्ये एका कोळ्याचा फोटो आहे तो आपल्या नाजूक रेशमी जाळ्यावर बसला आहे मला वेळ असता ना तर मी कोळी जाळे कसे विणतो आणि त्या विलक्षण प्राण्याविषयी अनेक गोष्टी सांगितल्या असत्या पण आता मी आपल्या विषयाला धरून तेवढीच माहिती सागणार आहे ती म्हणजे जाळी दोन प्रकारची असतात काही आतून बाहेर विणलेली असतात ती मऊ असतात

पण लवचिक नसतात आणि काही जाळी गोल गोल विणलेली असतात ती अतिशय लवचिक असतात आणि त्याच्यावर चिकट द्रवाचे पुष्कळ मणी असतात पुष्कळ म्हणजे किती असतात सांगितल तर आश्चर्य वाढेल एका बऱ्यापैकी आकाराच्या जाळ्यावर अडीच लाखाहून अधिक मणी असतात हे मणी म्हणजे माशा व किडे पकडण्याचे सापळेच असतात कोळी एक जाळे साधारण एक तासात विणून पुरे करतो आणि त्याला बहुतेक रोज नवे जाळे विणावे लागते जाळे विणून झाल्यावर त्यावर मणी बसवण्याची कला माहीत असती तरी कोळ्याला ते काम शक्य झाले नसते कारण त्याला वेळच पुरला नसता वेळ नसला तरी कोळ्याकडे युक्ती आहे द्रवरूप दडगोल फुटून त्याचे गोल गोल मणी झाले ना, तसे तो कोळी करतो म्हणजे जाळ्याकरता धागा विणला की कोळी आपल्या चिकट द्रवात भिजवतो हा झाला पहिला दडगोल तो काही त्या आकारात राहू शकत नाही त्याचे बारीक बारीक मण्यात रुपांतर होते सूक्ष्मदर्शक लावून एका खऱ्या जाळ्याचा घेतलेला फोटो इथे आहे (आकृती क्र ३९) त्याच्यात लहान व मोठे मणी एकाआड एक असे



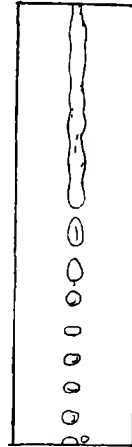
आकृती ३९

बसले आहेत - एक लहान एक मोठा त्याच्यात मधेच एखादा अगदी बारीक मणीही दिसतोय हे मोठे मणी म्हणजे किती मोठे आहेत ? त्याची कल्पना येण्याकरता फोटोशेजारी एक मोजपट्टी दिसते आहे ती १/१००० इचाची आहे जाळ्याबरोबरच ती ठेवल्याने तिचा फोटो आलाय

हे असच घडत, हे दाखवण्याकरता हे मी स्वतःच बनवलेल जाळ दाखवतो एक काडी एरडेल तेलात^{३४} बुडवून तिने क्वार्टझ^{३५}च्या धाग्याला हलकेच थोपटून हे जाळ तयार केलय कोळ्याच्या जाळ्यासारखे इथेही एका आड एक लहान मोठे मणी दिसू लागले आहेत नुसत बघून कोळ्याच्या व माझ्या जाळ्यातला फरक कळणार नाही त्या दोन्हीत आणखीही

एक साम्य आहे ते म्हणजे माशा पकडण्याच्या कामात माझ जाळ कोळ्याच्या जाळ्याइतकच चांगल आहे

पाण्याचा तेलात बनवलेला दडगोल आणि ह्या धाग्यावरचा हा सूक्ष्म दडगोल हे दोन्ही पाण्याच्या धारेसारखे नाहीत अस वाटून त्या तीनही गोष्टी मी सांगितल्याप्रमाणे वागतात की नाही हे प्रत्यक्ष बघायला तुम्ही मागणार आकृती क्र ४० हाही एक फोटो आहे विजेच्या क्षणिक झोतात काढलेला हा फोटो सव्वातीन पट मोठा केलेला आहे त्यात पाण्याची धार दिसते आहे प्रथम ती दडगोलाकार आहे जशी ती



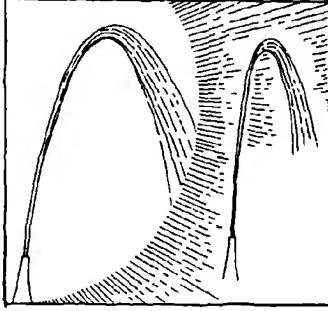
आकृती ४०

खाली येते तसे तिचे काही भाग फुगीर झाले, काही चिचोळे झाले (म्हणजे तिला ठिकठिकाणी मान आली) आणि मग त्याचे मणी अलग झालेले दिसतात काही थेबही दिसत आहेत मणी कपन पावतात आणि एका आड एक लाबडे व जाडे होतात आपण एरवी बघतो तेव्हा पाण्याच्या झोताचा चमकदार भाग आपल्याला एकच दिसत असला तरी खरे म्हणजे तो अनेक मण्याचा बनलेला असतो ह्यात शका नाही ते मणी इतक्या झटपट एकामागोमाग जातात की आपल्या डोळ्यांना ते वेगळे दिसू शकत नाहीत (हा फोटो काढत असताना मी किल्लीत फुकर मारून शिट्टी वाजवली होती त्याला एक कारण होते ते मी नंतर सागेन)

लॉर्ड रेलें^{३६} यांनी १/२५ इंच व्यासाच्या पाण्याच्या झोताचे निरीक्षण केले होते तेव्हा दिसत नसले तरी हा झोत प्रत्येक सेकंदाला हजारो ठिकाणी चिचोळा होतो असे आढळून आले हा झोत काही इंच पुढे जाण्यापूर्वीच त्याचे तुकडे तुकडे झालेले असतात लॉर्ड रेलेंनी पाण्याच्या थेबाच्या कपनाचा वेगही नमूद करून ठेवला आहे दोन इंच व्यासाचा थेब एका सेकंदात एक कपन पूर्ण करतो थेबाचा व्यास १/४ झाला तर एक पूर्ण कपनाला लागणारा वेळ १/८ होतो व्यास १/१०० झाला तर कपनकाल १/१००० होईल (द्रवरूप) दडगोलाचा व्यास आणि थेब विलग होण्यास लागणारा काल ह्याचे गुणोत्तरही असेच असते

कोळ्याच्या जाळ्यावरच्या मण्याएवढा पाण्याचा थेब किती जोरात कप पावून विलग होत असेल याची कल्पना आपल्याला लगेच करता येईल आपण १/८०० इंच व्यास धरला म्हणजे २ इंच मण्याच्या १/१६०० व्यास धरला २ इंच व्यासाचा मणी एक कपन एका सेकंदात पूर्ण करतो हा लहान मणी १ सेकंदात ६४००० कपने पूर्ण करेल इंचाच्या १/३००० इतका व्यास असलेले पाण्याचे इवलेसे मणी एका सेकंदात पाच लाखापेक्षा अधिक कपने पूर्ण करतील आणि हे सगळ पाण्याच्या क्षीण लवचिक कातडीमुळे थेब जर पुरेसा लहान असेल तर पाण्याची लवचिक, क्षीण कातडी किती बलवान होते हे आपण पाहिले

आता मी एक पाण्याचा फवारा सोडतो त्याचा झोत एका कागदावर पडू

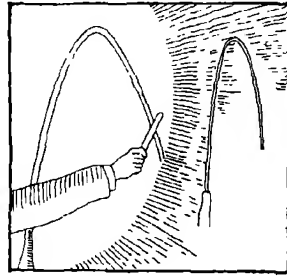


देतो हा फवारा आणि त्याची सावली दोन्हीही पडद्यावर दिसत आहेत फवारा नळीतून बाहेर पडल्यावर प्रथम सलग दडगोलाकार आहे नंतर ते चमकदार पाणी विलग होऊन त्याचे थेंबथेंब होतात आणि मोठ्या जागेवर विखरून पडतात (आकृती क्र ४१) थेंब विखरून का पडावेत ?

आकृती ४१

नळीतून निघताना सगळ पाणी एका वेगाने एका दिशेला जात पण थोड पुढे गेल की थेंब विलग होतात आणि सर्व दिशाना विखरून पडतात

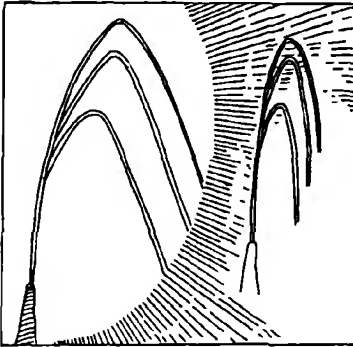
आधी शकेच उत्तर द्यायच आणि मग ते बरोबर कस आहे हे दाखवण्यासाठी प्रयोग करायचे असा माझा शिरस्ता आहे पण या वेळी मी तो बदलणार आहे आधी मी एक-दोन प्रयोग करतो आणि मग त्याचे स्पष्टीकरण देईन हे प्रयोग विलक्षण आहेत पण तितकेच सोपेही मुलानो, हे प्रयोग जर काही शतकापूर्वी कुणी करून दाखवले असते ना तर त्याला जिवंत जाळून टाकण्याची शिक्षा होऊ शकली असती पाण्याच्या नळीतून आलेले पाणी विखरून सर्व दिशाना पसरलेले तुम्ही पाहत आहात ज्या कागदावर



आकृती ४२

पाण्याचे थेंब पडत आहेत तिथे तडतड असा आवाज होत आहे माझ्या खिशात एक सीलिग वॅक्सची काडी आहे ती मी बाहेर काढतो काय झाल २ मी दूर उभा आहे आणि कशालाही काडीने स्पर्श करत नाही तरीसुद्धा विखुरणार हे पाणी एक सलग नळीप्रमाणे वाहू लागलय (आकृती क्र ४२) ते कागदावर आपटतानाचा आवाजसुद्धा बदलला आहे आता गडगडाटी पावसाची आठवण व्हावी असा थडथड आवाज येऊ लागला आहे, मी फवाऱ्याच्या जरा जवळ येतो फवारा पुन्हा विखरून वाहू लागला आहे पण त्याची पद्धत बदलली आहे आताचे थेंब मघापेक्षा खूपच मोठे आहेत सीलिग वॅक्सची ही काडी मी पुन्हा खिशात ठेवतो, बघा पाण्याचे रूप पुन्हा पूर्ववत झाले पुन्हा काडी बाहेर काढली की पाण्याची एक सलग धार झाली

सीलिग वॅक्सच्या ऐवजी आता मी धूर सोडणारी ज्योत घेतो थोडा कापूस काडीला लावून बेन्झीनमध्ये बुडवून पेटवला की धूर सोडणारी ज्योत तयार होते फवाऱ्यापासून ती दूर आहे तोवर काही फरक पडत नाही पण ती ज्योत फवाऱ्याच्या मध्यात धरली तर पाणी निमूटपणे पुन्हा एका ओळीत वाहू लागल आणि कागदावर धुराने काळ्या झालेल्या पाण्याचा फवारा आपटू लागला फवाऱ्यात जर एक अगदी केसाइतकी बारकी तेलाची धार सोडली तरी असाच परिणाम होऊन फवारा एका ओळीत वाहू लागेल



आकृती ४३

हा एक नादकाटा आहे त्याला 'ल्यूनिंग फोर्क' म्हणतात तो मी टेबलाच्या एका बाजूला ठेवतो फवाऱ्यावर त्याचा काही परिणाम होत नाही आता एक काठी घेऊन तिचे एक टोक काट्याच्या बुडाला लावतो आणि दुसरे टोक फवाऱ्याच्या मध्यात ठेवतो पाण्याच्या झोताकडे पहा या वेळी तो फारच शिस्तीत वाहू लागला आहे आणि कागदावर

पडणाऱ्या धारेचा आवाज ऐकलात का ? नादकाट्यातून निघणाऱ्या स्वरासारखा आवाज त्यातून निघतोय पाण्याचा ओघ जर बदलला तर काय होते ? त्याच्या स्वरूपात बदल होतो पण आवाज अजूनही सुरातच येतोय आणि वेगवेगळ्या दिशाना वळलेल्या दोन-तीन नळ्यातून यावेत तसे दोन तीन फवारे निघू लागले आहेत (आकृती क्र ४३) कुणी गाण म्हटल तर सुराचा परिणामही दाखवता येईल आता मी वेगवेगळ्या पट्टीतले आवाज काढतो कारण इथे गाण्यापेक्षा तेच जास्त प्रभावी ठरतील प्रत्येक आवाजानुसार फवारा आपले स्वरूप बदलतो

सीलिंग वॅक्स, धुराची ज्योत, थोडा-फार सुरातला आवाज याचा पाण्याच्या फवाऱ्यावर झालेला परिणाम पाहून तुम्ही आचंबा करत असाल साहजिकच आहे त्याच स्पष्टीकरण मात्र वाटत तितक अवघड नाही ते तुम्हाला पुढच्या वेळी सागेन

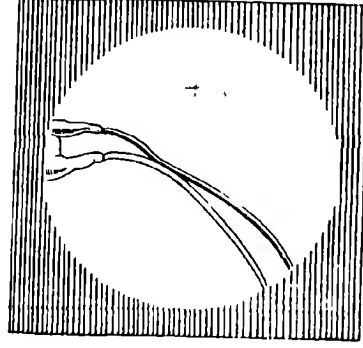


व्याख्यान तिसरे

मागच्या व्याख्यानाच्या वेळी मी तुम्हाला पाण्याच्या झोतासबधी काही विलक्षण प्रयोग दाखवले होते त्याची स्पष्टीकरणे आज घ्याची आहेत द्रवाच्या दडगोलाविषयी मी काय म्हटल होत ते आठवा त्याची लाबी रुदीच्या (म्हणजे व्यासाच्या) तिपटीहून अधिक झाली तर द्रव आपला दडगोलाकार टिकवू शकत नाही आणि लाबी रुदीच्या तिपटीपेक्षा बरीच जास्त असेल तर दडगोल निश्चितच फुटेल व त्याचे रूपांतर मण्याच्या मालिकेत होईल रुदीच्या तिपटीहून कमी लाबी असलेला दडगोल घेऊन त्याला अर्धे-मधे काही ठिकाणी चिचोळा करू शकलो तर तो पुन्हा पहिल्यासारखा होण्याचा सभव असतो कारण व्यासाच्या तिपटीहून कमी लाबीचा दडगोल हा स्थिर असतो तेच व्यासाच्या तिपटीहून अधिक लाबीचा दडगोल अस्थिर असतो त्याला जर का असा अनेक ठिकाणी चिचोळा केला तर तो पूर्ववत होणे सोडाच पण ते चिचोळे भाग अधिकच चिचोळे होत जातील आणि शेवटी तिथे दडगोल तुटून त्याचे मणी होतील दोन चिचोळ्या भागामधल अतर जर तीन व्यास (दडगोलाच्या व्यासाच्या तिप्पट) इतक असेल तर ते भाग अधिक चिचोळे होत होत तुटतील व तिथे थेब बनतील आणि दोन चिचोळ्या भागातल अतर जर व्यासाच्या साडेचार पट असेल तर तिथे तिथे तो दडगोल सहजच तुटेल आणि त्याचे थेब थेब होऊन जातील हे सगळ थोडक्यात सांगायच झाल तर -

“अगदी स्थिर धरून ठेवलेल्या नळीतून पाण्याच फवारा सोडला तर (नळीतून निघणाऱ्या पाण्याच्या दडगोलाच्या) व्यासाच्या साडेचार पट अतरावर फवारा अगदी सहज फुटेल व त्याचे अनेक मणी बनतील पण पुष्कळसे मणी एकमेकाच्या जवळ-जवळ असतील आणि काही थोडे

एकमेकापासून दूर जातील फवारा ज्या नळीतून येतो त्या नळीला जरासा धक्का लागला तरी पाण्याच्या दडगोलावर किंचितसे चिचोळे भाग दिसू लागतात पाण्याचा फवारा जेव्हा आपण नळीतून काढतो तेव्हा ती नळी आपण शक्य तितकी स्थिर ठेवण्याचा प्रयत्न करतो, पण तरी त्यात सूक्ष्म हालचालीमुळे अधून मधून कपन होताना दिसते ह्या कपनामुळे पाण्याच्या दडगोलावर काही अनियमित अंतरावर कमी-अधिक

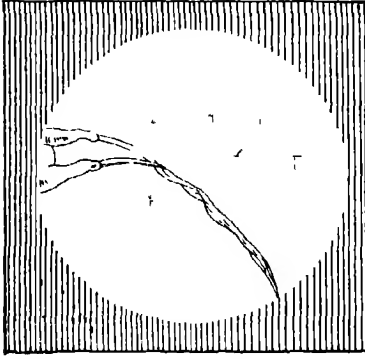


आकृती ४४

चिचोळे भाग दिसतात ह्याच कारणाने ह्या दडगोलाचे अनियमित अंतरावर अनियमित आकाराचे थेंब होत असतात एकदा वेगळे झाले की मग ते थेंब हवेत कुठेही जाऊ शकतात दडगोल फवाऱ्यावर चिचोळे भाग तयार होतात, त्यातून थेंब विलग होत असतात पण तरी फवाऱ्यावरच्या चिचोळ्या भागावरचे पाण्याचे कातडे (लवचिक असल्याने) त्यांना जवळ ओढायचा प्रयत्न करते म्हणून दृश्य काय दिसते ? झोत फुटून थेंब स्वतंत्र होऊन घाईने पुढे जातात पण कातडीच्या ओढण्यामुळे रेगाळतात त्यावेळी नवे थेंब विलग होतात त्यामुळे लवकरच ते थेंब एकमेकावर आदळतात (तेच थेंब जर सारख्या आकाराचे असले आणि सारख्या अंतरावर असले तरच फक्त ते एकमेकावर आदळणार नाहीत) आता तुम्हाला वाटेल की हे थेंब एकमेकावर आदळले की ते एकत्र होऊन वाहू लागतील पण ते तस होत नाही उलट ते रबराच्या दोन चेडूप्रमाणे एकमेकावर आपटतील आणि पुन्हा दूर जातील

वेगवेगळ्या आकाराच्या थेंबाच्या मालिकेतले अनियमित अंतरावरचे थेंब एकमेकावर आपटत असतील तर ते एकमेकापासून वेगळे होतात व खाली पडतात हे खालच्या कागदावर दिसू शकते ह्या फवाऱ्यावर सीलिंग वॅक्स आणि धुराच्या ज्योतीने काय जादू केली ? किंवा सुरातल्या आवाजाने त्या

थेबाना विखुरण्यापासून कसे थांबवले ? प्रथम मी सीलिंग वॅक्स घेतो ही काडी कपड्यावर घासली तर कपडा विद्युत्भारित होतो तो कागदाचे बारीक कपटे खेचून घेऊ शकतो पाण्याच्या फवाऱ्यातल्या थेबावर ह्या काडीचा तसाच परिणाम होतो आणि म्हणून थेब एकमेकाना खेचून घेऊ लागतात ही शक्ती तशी क्षीण असली तरी थेबाना एकमेकाकडे ओढण्यास पुरेशी असते हा एक कल्पनाविलास नाही हे दाखवण्याकरता एक प्रयोग करतो ह्या दिव्यासमोर दोन वेगवेगळ्या बाटल्यातून येणारे शुद्ध पाण्याचे फवारे पहा ते फवारे स्वतंत्रपणे उसळत आहेत (आकृती क्र ४४) ते कसे उसळत



आकृती ४५

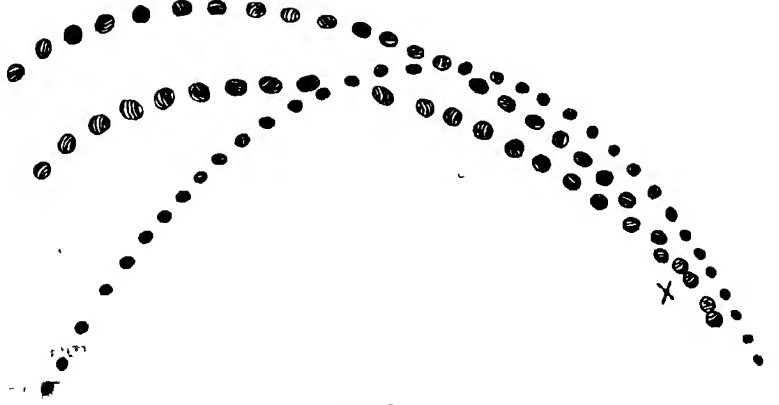
आहेत हे नीट दिसाव म्हणून त्यात दोन वेगळे रंग मिसळतो सीलिंग वॅक्सची काडी माझ्या खिशात आहे खोलीच्या दुसऱ्या बाजूला जातो व ती बाहेर काढतो काडी बाहेर काढल्याबरोबर दोन्ही प्रवाह एकत्र झाले पहा, (आकृती क्र ४५) हे आपल्याला पुन पुन्हा करून बघता येईल विजा आहे किवा नाही हे तपासण्याची ही एक छोटीशी कसोटी आहे आता तुम्हाला आपल्या प्रयोगाची

समज आली असेल फवाऱ्यातून सुटून बाहेर पडलेले थेब विखरून पडत होते सीलिंग वॅक्स बाहेर काढल्याबरोबर त्यांना उड्या मारून विखरण अशक्य झाल कारण विजेची शक्ती त्यांना खेचू लागली म्हणून ते एकत्र मिळाले परिणाम असा की छोट्या-छोट्या अनेक थेबामुळे कागदावर सगळीकडे विखरून पडणारा पाण्याचा फवारा आता एकसंध होऊन एका ओळीत पडू लागला आणि मोठाले थेब एकावर एक पडू लागले विजा चमकत असताना पावसाचे थेब मोठाले होण्याच तरी आणखी काय कारण असणार आहे ? हा प्रयोग आणि त्याच हे स्पष्टीकरण लॉर्ड रेले यानी दिलेले आहे

धूर ओकत येणारी ज्योतीही विजेचे काम करते अस श्री बिडवेल यानी अलिकडेच दाखवून दिलय हवेतले धुळीचे कण जर विद्युतभारित झाले तर ते पाण्याचे दोन फवारे एकसध होतात तोच परिणाम ह्या ज्योतीने केलाय ते धुराचे कण फवाऱ्याजवळच्या हवेत विखुरतात कदाचित पाण्याने घट्ट झालेल्या तेलाचाही तो परिणाम असण शक्य आहे कारण नुसत तेलही ज्योतीसारखा पाण्यावर परिणाम करू शकत पण ह्या उदाहरणात तेल पाण्याच्या धबधब्याला ओळीत आणून का बसवत हे सहज समजण्यासारख नाही हे नक्की

सीलिंग वॅक्सची काडी मी जेव्हा जवळ आणली तेव्हाही थेंब एकमेकात मिसळले हे खरे पण तेव्हा ते अधिक विद्युतभारित झाले होते आणि त्यामुळे इतर विद्युतभारित पदार्थांप्रमाणे तेही एकमेकांना दूर ढकलू लागले होते म्हणून तो फवारा मोठ्या मोठ्या थेंबाचा असला तरी विखरून पडू लागला होता

नादकाट्यामुळे थेंब ओळीत का वाहू लागले हे कदाचित तुमच्या लक्षात आल असेल, तरीही मी सांगतोच वेगाने झालेल्या कपनामुळे सुरावट निघते हे आता माहित झाल आहे जितकी कपने अधिक वेगवान होतात तितकी सुरावट अधिक वरच्या पट्टीत निघते माझ्यापाशी हे दातेरी चक्र आहे ते मी वेगात गरगर फिरवू शकतो आता एका बाजूला मी हे कार्ड धरतो आणि हळू हळू ते फिरवतो, चाकाचे दाते कार्डावर आपटल्याचा आवाज खालच्या पट्टीत येतो आहे पण चक्राचा वेग मी वाढवू लागलो की आवाजाची पट्टी वर चढू लागते (मी चाक अति वेगान फिरवू शकलो तर आवाजाची पट्टी इतकी वाढेल की आपण त्याचा आवाज ऐकू शकणार नाही) नादकाटा एका विशिष्ट वेगाने कप पावत असतो, म्हणून त्यातून विशिष्ट सुरावट निघते आता तो प्रतिसेकदाला १२८ वेळा कप पावतो आहे तो आपण नळीच्या तोडावर ठेवला की नळीपण प्रतिसेकदाला १२८ वेळा कप पावू लागेल पण ते आपल्या लक्षात येणार नाही एका सेकदात १२८ वेळा कपन पावते याचा अर्थ - नळीतून निघणारा पाण्याचा दडगोल प्रतिसेकदाला १२८ ठिकाणी चिचोळा होतो



आकृती ४६

(हे ही आपल्याला दिसू शकत नाही) हे चिचोळे भाग एकमेकापासून किती दूर आहेत हे नळीतून येणारा पाण्याचा झोत किती व्यासाचा आहे आणि पाणी किती वेगाने बाहेर निघत आहे यावर अवलंबून राहील. नळीच तोड मोठ असेल तर किंवा दाब अधिक असेल तर पाणी अधिक वेगाने बाहेर पडेल. नळीच तोड लहान असेल तर कमी वेग पुरेसा होतो. आता हे चिचोळे भाग एकमेकापासून झोताच्या व्यासाच्या चौपट अंतरावर असतील तर त्या त्या ठिकाणी पाण्याच्या दडगोलाच्या व्यासात फरक पडल्याचे आपल्या लक्षात येणार नाही (इतका तो छोटा असतो). ते वेगाने तयार होत राहतात त्यामुळे पाण्याचा खांब (दडगोल) नियमित अंतरावर तुटत जाईल. पण इथे प्रत्येक थेंब हा बरोबर आपल्या पुढच्या आणि मागच्या थेंबासारखाच असेल. एखाद्या धक्क्यामुळे पाण्याचा दडगोल फुटून त्याचे वेगवेगळ्या आकाराचे थेंब होतात, तसे इथे होत नाही. आता जर हे थेंब अगदी एकसारखे असतील आणि एकाच मार्गाने जात असतील तर ते एका सलग झोतासारखेच दिसतील. मधाशी म्हटल्याप्रमाणे त्यावरचे चिचोळे भाग एकमेकापासून (दडगोलाच्या) व्यासाच्या साडेचारपट इतक्या अंतरावर असतील तर आपला दडगोल सहज फुटेल. पण तो जर विविध सुराच्या कारणाने फुटत असेल

तर त्यावरचे चिचोळे भाग वेगळ्या वेगळ्या अतरावर असतील (अर्थात ते व्यासाच्या तिपटीहून अधिक अतरावर असले पाहिजेत) दोन सूर एकाच वेळी वाजवले तर बहुतेक वेळी ते आपापला प्रभाव दाखवतील म्हणजे काय ? म्हणजे वेगवेगळ्या आकाराचे थेब एकाआड एक निघत राहतील, आणि त्याचा परिणाम म्हणून पाण्याचा झोत दोन ओळीत वाहू लागतो अशा प्रकारे एका झोताचे लहान-मोठे तीन किंवा चार झोत करता येतील

अशा या संगीत फवाऱ्याचे फोटो माझ्याजवळ आहेत त्यात वेगवेगळ्या आकाराचे थेब वेगवेगळ्या मार्गाने जातांना दिसतात (आकृती क्र ४६) एका फोटोत तर एका नळीतून आठ झोत निघत आहेत ते वेगवेगळ्या मार्गानी जात आहेत, एवढेच नाही तर प्रत्येक झोतात एका विशिष्ट आकाराच्या थेबाची मालिका स्पष्ट दिसत आहे ह्या फोटोत थेब एकमेकावर आदळताना दिसत आहेत आणि आदळले की ते चपटे होतात, जसे काही ते रबराचे आहेत फोटोत फुलीजवळ हे थेब आपटताना दिसत आहेत त्याचा परिणाम काय होतो ? पुढच्या थेबाना (मागचे थेब ढकलत असल्याने) अधिक वेग येतो आणि मागच्या थेबाचा (पुढच्या थेबावर आदळल्याने) वेग कमी होतो त्यामुळे ह्या थेबाचा वेग वेगळा होतो आणि परिणाम म्हणून ते वेगळ्या मार्गाने जाऊ लागतात फोटोतल्या थेबाहून बारके थेबही तसेच जात असणार पण ते फोटोत न आल्याने आपण पाहू शकत नाही अगदी बारक्या थेबाबद्दल मी सारखा सागतो आहे ते थेब सुराच्या प्रभावाखाली येऊन बाजूने फेकले जातात आणि फेकले गेल्यावर ते मुख्य धारेहून वेगळ्या वक्रमार्गाने उडत राहतात मुख्य धारेतल्या थेबाच्या धक्क्यामुळे ते बाजूला फेकले जातात धारेच्या खालच्या बाजूला ते प्रथम दिसतात, तिथेच ते तयार होतात हे बघायला आपण विद्युतभारित सीलिंग वॅक्सचा तुकडा घेऊ तो नळीच्या तोडाजवळच्या झोतापाशी धरू नंतर हळूहळू उच नेऊ आता बारीक थेब प्रत्यक्ष तयार होतात त्याच्या विरुद्ध बाजूला पोहोचला की (मोठ्या थेबापेक्षा त्याचा लहान थेबावर साहजिकच अधिक प्रभाव पडतो) बारीक थेब खेचले जातात ते आपल्याला इतका वेळ दिसतही नव्हते आता ते सीलिंग वॅक्सच्या भोवती वर्तुळाकारात फिरू लागलेत सूर्याभोवती ग्रहगोल प्रदक्षिणा घालतात

ना तसेच फक्त इथे त्यांना हवेचा अडथळा येतो त्यामुळे ते बऱ्याच प्रदक्षिणा मारल्यानंतर शेवटी वॅक्सवरच येऊन पडतात अतरिक्षात ग्रहाच्या प्रदक्षिणात जर घर्षणासारखा काही अडथळा आला तर तेही बऱ्याच प्रदक्षिणानंतर सूर्यावर येऊन आदळतील

रंगीत फवाऱ्याचे हे प्रात्यक्षिक पूर्ण करण्यास आणखी एक गोष्ट पाहिजे ती म्हणजे पाण्याच्या खऱ्याखुऱ्या फवाऱ्यातल्या वेगवेगळ्या ओळीतले थेंब तुम्ही प्रत्यक्ष पाहणे आता मी जर विजेचा एक जबरदस्त फ्लॅश टाकला तर तुमच्यापैकी काही जणाना एका क्षणाकरता थेंब दिसतील, हे खरे पण बऱ्याचजणाना काहीच दिसणार नाही असा एकच फ्लॅश टाकण्याऐवजी ठराविक कालावधीने अनेक फ्लॅश टाकतो म्हणजे कसे ? प्रत्येक मागून येणाऱ्या थेंबाने पुढच्या थेंबाची जागा घेतली की एक फ्लॅश टाकतो, आणि प्रत्येक थेंबाने त्यापुढची जागा घेतली की आणखी एक फ्लॅश टाकतो असे करत गेलो तर सगळे थेंब एका जागी खिळून गेल्यासारखे दिसतील पण आपल्याला माहीत आहे की ते थेंब वेगाने पुढे जात आहेत मी हे फ्लॅश टाकताना जर बरोबर वेळ साधू शकलो नाही तर मात्र एक वेगळेच दृश्य दिसेल समजा, माझे फ्लॅश थेंबाच्या वेगापेक्षा अधिक वेगाने टाकले गेले तर थेंबाला आपली पुढची जागा घ्यायला पुरेसा वेळ मिळणार नाही त्यामुळे पुढच्या फ्लॅशच्या वेळी थेंब त्याच्या अपेक्षित जागेच्या मागच्या जागेवर दिसेल, तिसऱ्या फ्लॅशच्या वेळी तो आणखी मागे गेल्यासारखा दिसेल अशा रीतीने थेंब हळूहळू मागे जाताना दिसू लागतील आणि हे फ्लॅश जर थेंबाच्या वेगापेक्षा सावकाश टाकले गेले तर ? प्रत्येक फ्लॅशच्या वेळी थेंब जरा जास्तच पुढे गेला असेल आणि मग सर्व थेंब अतिशय सावकाश पुढे जात असल्यासारखे दिसतील आता हा प्रयोग करून पाहू या एका कार्डाला मध्यात एक भोक पाडतो माझ्याकडे ही विजेरी आहे तिचा जबरदस्त झोत पडद्यावर पडत आहे तो एका भिगातून केंद्रित करून टाकतो आणि कार्डाच्या भोकातून जाऊ देतो आता तो प्रकाश किरण पसरून पडद्यावर पडू देतो पाण्याचा फवारा आता काई आणि पडदा याच्यामध्ये आहे म्हणून त्याची

सावली पडद्यावर स्पष्ट दिसते आहे कार्डाच्या मागे एक छोटीशी विजेची मोटर ठेवतो, तसेच सहा भोके पाडलेली ही कार्डाची एक चकतीही ठेवतो मोटर त्या चकतीला वेगाने फिरवत राहील या चकतीवरची भोके एका मागोमाग पुढच्या कार्डाच्या भोकापुढे (म्हणजेच प्रकाशझोतापुढे) येत राहील त्यामुळे चकतीच्या एका फेरीत आपल्याला प्रकाशाचे सहा पल्लेंश मिळतील चकती जर सेकंदात ४३ वेळा फिरली, तरच आपल्याला हव्या त्या वेगाने हे पल्लेंश येत राहतील ही मोटर सुरु केल्यावर एक-दोन क्षणात आपल्याला योग्य तो वेग मिळेल योग्य तो वेग आलाय हे तपासायला एक युक्ती करू त्या भोकातून एक सुरावट सोडतो वेग जास्त असेल तर ती सुरावट नादकाट्यापेक्षा वरच्या पट्टीत एकू येईल, आणि वेग कमी असला तर नादकाट्यापेक्षा खालच्या पट्टीत ती सुरावट एकू येईल जेव्हा नादकाट्याच्या बरोबर ती एकू येईल तेव्हा आपला वेग योग्य झाला असे समजायला हरकत नाही

वेग अगदी बरोबर आहे याची खात्री करण्याकरता मी हा नादकाटा प्रकाश आणि पडदा याच्यामध्ये ठेवला आहे त्यामुळे त्याच्यावर प्रकाश पडून त्याची सावली पडद्यावर बघायला मिळेल अजून मी पाण्याचा फवारा सोडलेला नाही कारण तुम्ही नादकाटा आधी बघावा अशी माझी इच्छा आहे क्षणभर मोटर बंद करतो आता प्रकाश स्थिर झाला आणि कप पावणाऱ्या नादकाट्याची सावली दिसू लागली त्याच्या टोकाची सावली थरथरते आहे, कारण तिथे त्याची कपने सर्वात जास्त आहेत मोटर सुरु करतो की बघा क्षणात नादकाटा कसा वेगळाच दिसू लागला एखादा रबरी चिमटा सावकाश उघड-झाप करत असल्यासारखा दिसला आणि आता तर तो थाबल्यासारखा झाला आहे पण त्याचा आवाज येत आहे त्या अर्थी तो स्थिर नाही हे आपल्याला निश्चित माहीत आहे त्याची टोके थरथरत आहेत पण त्याच्यावर प्रकाश ठराविक वेळाने पडतो, त्या प्रकाशाचा आणि नादकाट्याच्या कपनाचा वेग एकच आहे म्हणून पाण्याच्या थेबाच्या बाबतीत झाल तेच त्याच्या बाबतीत होत आणि तो पूर्णपणे स्थिर दिसू लागला प्रकाशाचा वेग जरा

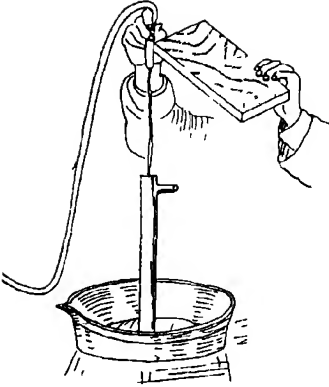
बदलला म्हणजे नादकाट्याच्या कपनापेक्षा जरा अधिक किवा कमी केला तर काय होत ? प्रत्येक फ्लॅशच्या वेळी त्याची मागच्या फ्लॅशच्या मागची किवा पुढची स्थिती दिसते त्यामुळे चिमटा सावकाश थरथरतो आहे अस दिसत प्रत्यक्षात काय होत ते आपल्याला माहीत आहे - तो प्रतिसेकंदाला १२८ वेळा मागे-पुढे हालतो आहे नादकाट्याकडे किवा त्याच्या सावलीकडे पाहिल तर प्रकाशाच्या फ्लॅशचा वेग नादकाट्याच्या कपनाइतका (म्हणजेच पाण्याच्या थेबाच्या इतका) आहे किवा नाही ते आपल्याला कळून येत -

पाणी उडत आहे - सर्व थेब एका अदृश्य धाग्यात ओवलेल्या रुपेरी मण्याप्रमाणे स्तब्ध दिसत आहेत आता काई आणखी जरा सावकाश फिरवत तर थेब हळूहळू पुढे सरकताना दिसतील पण त्यातली खरी गंमत आहे (ती अगदी थोड्या जणानाच दिसू शकेल), ती म्हणजे प्रत्येक लहानसा थेब वेगळा होतो चिचोळ्या भागातून ओढून तो तयार होतो आणि मग मुळातला मोठा थेब स्वतंत्र झाला की तो हेलकावू लागतो रुंद होतो, लांबट होतो आणि आपल्या भोवती गिरक्या घेत पुढे जाऊ लागतो ते होताना दोन किवा अधिक फवारे निघू लागतात आणि छोटे छोटे थेब एकमेकाना मिळतात, आणि जिथे मिळतात तिथे ते एकमेकाना चेपतात आणि मग पुन्हा उडून एकमेकाहून दूर जातात आता काई किचितस जोराने फिरतय आपले थेब उलट्या दिशेने चालू लागले आहेत बघा दृश्य कस दिसतय ? जमिनीवरच्या ह्या टाकीतून पाणी वर येऊन माझ्या डोक्यावरून जाऊन नळीच्या तोडात शिरत आहे म्हणजे जिथे पाण्याचा साठा आहे तिथेच जात आहे अर्थात ते तस काही होत नाही, हे आपल्याला पक्क माहीत आहे मी जर कोणत्याही दोन थेबामध्ये बोट ठेवत तर ते स्पष्ट होईल पाणी सर्व दिशानी फवारू लागेल, त्यावरून ते वाटत तितक शांत नाही हे उघड होत ह्या प्रयोगावषयी आणखी एक गोष्ट सागावीशी वाटते ती म्हणजे प्रत्येक वेळी प्रकाशाच्या फ्लॅशचा वेग (थेबाच्या हालचालीइतका किवा) कमी किवा जास्त झाला की एक हेलकावा पूर्ण होतो नादकाट्यावर एक कपन पूर्ण होते आणि पाण्याचे थेब स्तब्ध झालेले दिसतात, पुढे किवा मागे गेल्यासारखे दिसतात

आता ह्या अतिसुंदर संगीत फवाऱ्याचा एक व्यवहारातला उपयोग सांगतो श्री चिचेस्टर बेल यांनी रचलेल्या अनेक प्रयोगापैकीच काही थोडे प्रयोग मी तुम्हाला दाखवणार आहे टेलिफोनचा शोध लावणारे ग्रॅहॅम बेल याचे ते चुलत भाऊ होते

प्रथम मी नळीच तोड दाबून त्यातून एक बारीक पाण्याचा फवारा काढतो तो छताकडे उडवला तर साधारण ८ ते १० फूट वर जाईल एका बारीकशा नळीवर पसरलेल्या रबरी चादरीवर जर तेच फवारा पडू दिला तर चादरीवर खड्डा दिसेल, आणि फवाऱ्याचा जोर जास्त असेल तर हा खड्डा अधिकच खोल होईल आणि ही नळी रबराच्या जवळ धरली तर पाण्याचा एक खांब त्या रबराला दाबत राहील आणि हे सर्व चुपचाप होत राहील पण मी नळी रबरी चादरीहून दूर नेत राहिलो तर त्या पाण्याच्या खांबावर चिचोळे भाग तयार होतील धार दूर गेली तर ते अधिकच चिचोळे होतील व स्पष्ट दिसू लागतील पाण्याच्या खांबाचा रुंद भाग जेव्हा रबरी चादरीवर पडेल तिथे चादर नेहमीपेक्षा अधिक दाबली जाईल अरुंद भाग त्याच्या मागून आला तर खड्डा जरा कमी होईल पाण्याच्या फवाऱ्यावर जरा जरी कपन झाले तरी त्यावरचे चिचोळे भाग वाढतील, आणि मग रबरी चादर कपन पावेल - तीही मोठ्या प्रमाणावर (आकृती ४७) आवाज हा कपनाचा बनलेला असतो हे लक्षात घेतल तर फवारा हा ध्वनिवर्धक यंत्र आहे असे म्हणायला हरकत नाही हे सिद्ध करण्यासाठी मी आता फवाऱ्याचा नोहरा रबरी चादरीकडे वळवतो काही ऐकू येणार नाही पण आता या नळीच्या तोडाजवळ मी एक लाकडी पट्टी धरतो आपला फवारा एका विशिष्ट तालाने फुटत असेल किवा रबरी चादर व लाकडी पट्टी एका विशिष्ट वेगाने सहज कपन पावत असेल, तर पहिली जी काही कपने त्या तालाशी मिळती-जुळती असतील, ती लाकडावर पोहोचतील लाकडी पट्टी ती कपने नळीच्या तोडाजवळ पोहोचवेल आणि तिथून पाण्याच्या खांबाला पोहोचती होतील तिथे पोहोचल्यावर त्याचे ध्वनी मोठे होतील परिणाम काय ? तर फवारा आपणहून मोठ्यादा गाऊ लागेल

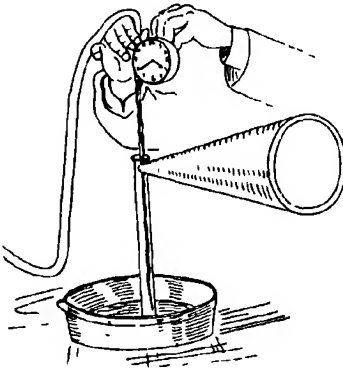
आता लाकडी पट्टी काढून घेतो त्याच्या जागी एक साध किल्लीच



आकृती ४७

घड्याळ धरतो आता काय होत ? प्रत्येक टिक टिक घड्याळाला धक्का देत असते (जरी ते आपल्या लक्षात येत नसल तरी) ती टिकटिक नळीच्या तोडालाही धक्का देते मग त्यातून निघणारा फवारा जसा पुढे जातो तसे त्यावर चिचोळे भाग तयार होत जातात आणि मग जी टिकटिक ऐकू येत नव्हती ती आता खोलीभर ऐकू येऊ लागली (आकृती ४८) कपनाचा आवाज मोठा कसा झाला ? नळीच तोड रबरी चादरीजवळ धरल तर काही ऐकू येत नाही ती सावकाशीने दूर नेत गेलो, तर अगदी अस्पष्ट प्रतिध्वनी निघू लागतो तो हळू हळू मोठा होत जातो शेवटी घड्याळाची टिकटिक एखाद्या हातोड्याच्या आवाजासारखी होते

आता मी दुसरे घड्याळ घेतो ते माझ्या मित्राने दिलेय ह्या घड्याळाचे



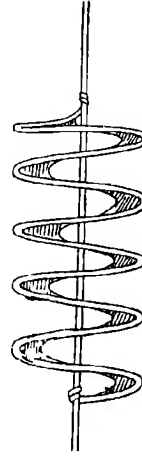
आकृती ४८

बटन दाबले की, प्रथम तासाला मग पधरा मिनिटानी आणि नंतर तर दर मिनिटाला टिंग टिंग करत आपल्या फवाऱ्याच्या मदतीने आपण किती वाजले ते पाहू एका । एक, दोन, तीन, चार -- टिंग टॅंग, टिंग टॅंग -- एक, दोन, तीन, चार, पाच, सहा साडेचार वाजून सहा मिनिटे नुसती टिंग टिंगच नाही तर फवाऱ्याने संगीत सूरही वाजवले हे तुमच्या लक्षात आल का ? त्यामुळे तुम्हाला सूर एकमेकाहून वेगळे आहेत हे समजेल

एका सुरपेटी^{३७}वर एक काठी ठेवून तिला जर आपली नळी लावली तर हा फवारा सुरावट वाजवू लागेल सुरपेटी ही दुसऱ्या एका अस्तर लावलेल्या पेटीत बंद करून ठेवली आहे काही ऐकायला येत नाही पण ज्या क्षणी काठीवर (जी सुराच्या पेटीवर ठेवली आहे) नळीच तोड ठेवेन आणि फवारा रबरी चादरीवर पडू देईन त्या क्षणी पेटीतल्या सुराचा आवाज मोठ्यादा ऐकू येऊ लागेल सगळ्या खोलीभर तो ऐकू जाईल आपण म्हणतो ना, कारज थुईथुई नाचत, आता ते (कारज हा एक फवाराच नाही का ?) सुरात गात अस म्हणायला हरकत नाही

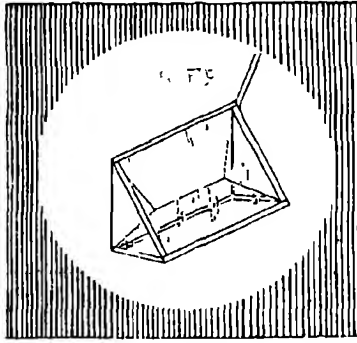
पण फवारा चोखदळ आहे तो सर्व सुराना सारखाच प्रतिसाद देत नाही काही ठराविक सुरानी तो सहज तुटतो (इतर स्वराच्या तुलनेत) साध्या शब्दात सागायच तर काही आवाज त्याला इतर आवाजपेक्षा अधिक पसत असतात काही स्वराना काही वेगळाच उठाव येतो आहे पियानोच्या वरच्या काही पट्ट्यावर एक नाण ठेवत तर आवाजावर कसा परिणाम होतो, तसाच हा उठाव आहे

आता आपण पुन्हा साबणाच्या फुग्याकडे वळूया कॅटेनॉइड आणि प्रतल ह्या दोनच आकारात वक्रता नाही आणि म्हणून त्याच्यातून दाबही निर्माण होत नाही तसे दाब न निर्माण करणारे अनेक पृष्ठभाग असतात ते विविध दिशानी वळलेले असतात पण तरी ती वक्रता नसते म्हणून ते दाब निर्माण करत नाहीत अक्षदंडाभोवती एक वक्ररेषा फिरवली तर एक परिभ्रमण (रेव्होल्यूशन) होते त्या परिभ्रमणात मात्र हे सगळे आकार पाहायला मिळत नाहीत तसे पृष्ठभाग पहायचे झाल्यास वेगळी पद्धत वापरावी लागेल तारेच्या वेगवेगळ्या आकाराच्या चौकटी तयार करून त्या साबणाच्या पाण्यात बुडवून बाहेर काढल्यास



आकृती ४९

वक्रता नसलेले किती तरी पृष्ठभाग बनवता येतील त्यातला एक आकार असतो - 'स्कू' पृष्ठभाग तो तयार करायला एका काडीभोवती तार चक्राकार फिरवून त्याची दोन्ही टोके त्यामधून जाणाऱ्या काडीला जुळवून टाकायची आता हा आकार साबणाच्या पाण्यात बुडवला, तर आकृती ४९ मध्ये दाखवल्यासारखा आकार तयार होतो चित्रावरून ह्या आकाराची कल्पना येणार नाही पण हा प्रयोग इतका सोपा आहे की तो कुणीही करून बघू शकेल



आकृती ५०

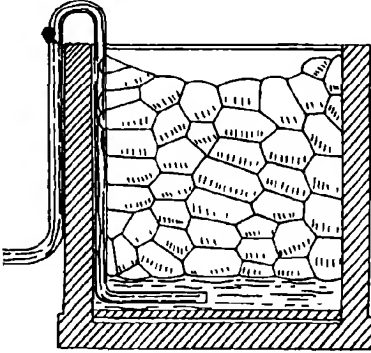
तारेच्या साहाय्याने एखादी भूमितीय आकृती बनवून जर साबणाच्या पाण्यात बुडवली, तर वेगवेगळे सुंदर आकार पाहायला मिळतील त्रिकोणी प्रिझमची आकृती असेल तर साबणाच्या पाण्याचे सपाट पृष्ठभाग होतील तीन पृष्ठभाग जिथे मिळतात तिथे त्याचे कोन समान असतात (आकृती ५०)

आकृती त्रिकोणी असल्याने हे

तुम्हाला कदाचित विशेष वाटणार नाही तसेच ह्या तीन बाजूच्या आकृतीत तिन पटले (फिल्म) मध्य रेषेला मिळतात हे पाहून तुम्हाला वाटेल की चार बाजूची किंवा चौसर आकृती बनवली, तर चार बाजूची पटले अशीच मध्य रेषेत मिळतील पण यातली गमत अशी की तारेची आकृती कितीही अनियमित असो, आणि साबणाचा फेस कसाही असो पण एका कडेशी मिळणारी पटले तिनाहून अधिक असत नाहीत आणि एका बिंदूत चारपेक्षा अधिक कडा किंवा सहाहून जास्त पटले असत नाहीत त्याचप्रमाणे कडा आणि पटले एकमेकाना समान कोनातच मिळतात आणि जर कधी एका कडेशी चार कडा मिळाल्याच किंवा त्याच्यामधले कोन समान नसतील तर जो काही आकार असेल तो स्थिर असणार नाही आणि तो फार काळ टिकून

राहू शकणार नाही स्थिरतेची परिस्थिती निर्माण होईपर्यंत पटले एकमेकावरून घसरत राहतील हे तपासून बघण्यासाठी एक सोपा प्रयोग आहे तो तुम्ही घरी करून पाहू शकाल

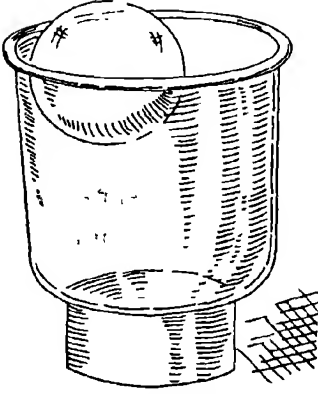
आता मात्र मी तो तुम्हाला या पडद्यावर दाखवतो हे एक पेटीसारखे भाडे आहे त्यात साबणाचे पाणी आहे त्याच्या समोरासमोरच्या दोन बाजूंना काचा बसवल्या आहेत पाण्यात नळी बुडवून फुकर मारली की पेटीतल्या काचामध्ये कितीतरी फुगे तयार होतील हे फुगे दोन्ही काचाना मिळण्याइतके मोठे असतील तर तुम्हाला लगेचच दिसेल की एकमेकांना मिळणारी पटले कुठेही तिनापेक्षा जास्त नाहीत आणि जिथे ती मिळतात ते सर्व कोन समान आहेत फुग्याच्या वक्रभागामुळे हे कोन सारखे आहेत हे नीट दिसत नाही पण त्या वक्रभागाच्या जजाळात न बघता एकाच ठिकाणी नीट लक्ष देऊन



बघितल, तर कोन समान असल्याच दिसेल फुगे बनत असताना झटपट निरीक्षण केले, तर असेही आढळून येईल की काही वेळा चार पटले मिळतात पण क्षणातच ती एकमेकावरून घसरून जातात आणि स्थिर होतात तेव्हा फक्त तीनच पटले जोडली गेलेली दिसतात (आकृती ५१)

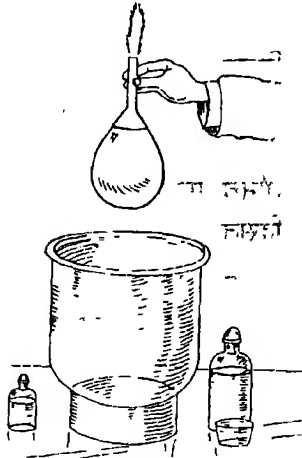
आकृती ५१

फुग्यातली हवा सहसा दाबलेली असते हा दाब फुग्याचा लवचिकपणा आणि त्याची वक्रता यामुळे तयार होतो फुग्याच्या एका बाजूकडून दुसऱ्या बाजूकडे हवा निघत गेली तर फुगा मिटून जाईल पण फुग्याला भोके नसल्याने हवा अशी निघून जाणार नाही अस असल तरी आतला वायू निघून जातो हे खरच आहे आणि काही वायूच्या बाबतीत हे आपल्या कल्पनेपेक्षा अधिक वेगाने घडत



आकृती ५२

वायू जड आहे हे दाखवण अगदी सोप आहे पात्रात एक फुगा सोडू या फुगा पात्राच्या तळाशी जाऊ शकणार नाही तो त्या वायूवर तरगत राहतो (आकृती ५२) आता फुग्याच्या आत वायू शिरतो का हे तपासू या त्याकरता



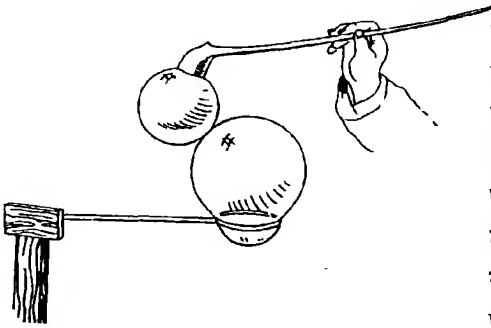
आकृती ५३

इथरमधून जो वायू निघतो, तो अतिशय जड असतो तो सहज जळतो हा वायू फुग्याच्या एका बाजूकडून दुसरीकडे क्षणात जाऊन पोहोचतो इथे एक घटेच्या आकाराचे काचपात्र आहे त्यात टीपकागद आहे त्यावर मी थोडा इथर ओततो. पात्र जड वायूने भरून जाईल पात्र दिसायला रिकामे दिसते पण पडद्यावरच्या त्याच्या सावलीकडे बघितल की पात्रात काही तरी असल्याचे दिसून येते आता मी पात्र जरा वाकडे केले तर त्यातून काहीतरी बाहेर पडताना दिसेल ती इथरची वाफ आहे हा

मी तो फुगा एका रिगेवर उचलून घेतो आणि दिव्यापाशी नेतो फटकन् स्फोट झाला पण त्यावरून वायू फुग्याच्या आत शिरला अस खात्रीने म्हणता येणार नाही कारण फुग्याच्या बाहेर चिकटून आलेल्या वायूचा स्फोट झाला असण्याची शक्यता आहे माझ्या पहिल्या व्याख्यानाच्या वेळी मी इथर पाण्यावर ओतला होता, आठवत ? त्याच्यामुळे पाण्याचे कातडे इतके क्षीण झाले की तारेची चौकट सहज दुसऱ्या बाजूला जाऊन पोहोचली आता मी एका रुंद नळीतून फुगा फुगवतो आणि तो क्षणभर

या वायूत धरतो बाहेर काढल्यावर फुगा बघा कसा एखाद्या जड थेबासारखा लटकला आहे. फुग्याचा जो पूर्ण गोलकाचा आकार होता, तो राहिला नाही याचा अर्थ असा की, इथरमधून निघालेला वायू फुग्यात शिरला आहे. खात्री करण्याकरता नळीच्या तोडाशी जळती काडी धरू. फुग्याच्या कातडीच्या लवचिकपणामुळे वायू बाहेर निघाला की पेट घेईल. त्याची ज्योत कशी लाबच्या लाब झाली आहे पहा (आकृती ५३). फुगा जेव्हा पात्रातून बाहेर काढला तेव्हा वायू बाहेर निघू लागल्याच तुम्ही बघितल असेल. त्याचा ओघच वाहू लागला होता. पण हे सगळ फक्त पडद्यावरच्या सावलीतच दिसू शकते.

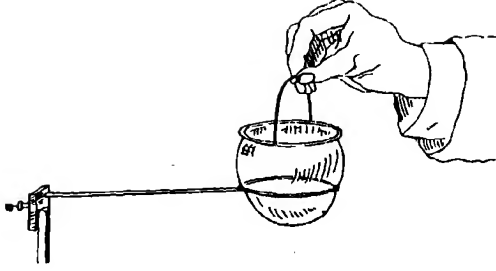
मागच्या व्याख्यानाच्या वेळी मी अल्कोहोल आणि पाण्याच्या मिश्रणात तेलाचे गोलक बनवले होते. ते जेव्हा जवळ आणले तेव्हा ते लगेच एकमेकात मिसळले नव्हते. प्रथम त्यांनी एकमेकांना चेपले, एकमेकांना ढकलले, तसच पॅराफिनच्या मिश्रणातले पाण्याचे थेबही एकमेकावर आपटले होते. जेव्हा त्यात पॅराफिन भरल तेव्हा त्या फुग्यात इतरही लहान-लहान पाण्याचे व पॅराफिनचे थेबही तरगत राहिले होते.



आकृती ५४

ह्या सगळ्या उदाहरणातील थेबाच्या मध्ये कसला तरी पातळ पापुद्रा होता. त्या पापुद्र्याना थेबातला पदार्थ (पाणी, पॅराफिन किंवा हवा) पिळून बाहेर काढण शक्य होत नव्हत. आता दोन साबणाचे फुगे जर एकमेकावर आपटले तर त्याच्या मधली हवा बाजूला सारण त्यांना शक्य

होईल काय ? हे तुम्ही आपल्या घरीही करून बघू शकाल. आता आपण तो

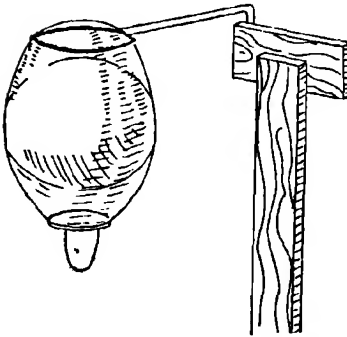


आकृती ५५

इथे करून बघू मी
हे दोन फुगे फुगवले
आहेत मी ते
एकमेकावर
आपटतो, तरी ते
वेगळेच राहिले
आहेत (आकृती
५४)

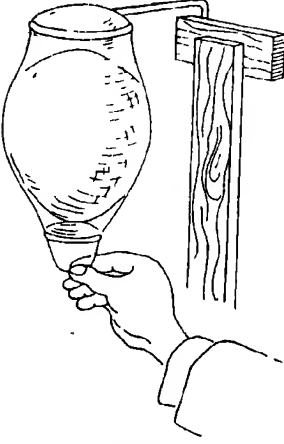
आता त्यातला

एक फुगा मी रिगवर ठेवतो हा फुगा रिगमधून सरकून जाणार नाही इतका मोठा आहे आणखी एका रिगवर दुसरा एक फुगा ठेवून तो एका बाजूने फोडतो आता रिगवर एक सपाट पापुद्रा तयार झाला आहे ही रिग मी हातात पकडतो ह्या रिगच्या सपाट पापुद्र्याने मी फुग्याला दाबतो फुगा रिगमधून पलीकडे ढकलला जातो (आकृती ५५) पण तरीही दोन गोष्टी एकमेकाना चिकटलेल्या नाहीत या पद्धतीने हा फुगा पुन्हा वर काढता येईल, एवढेच नाही तर तो अनेकदा रिगमधून वर-खाली ढकलता येईल



आकृती ५६

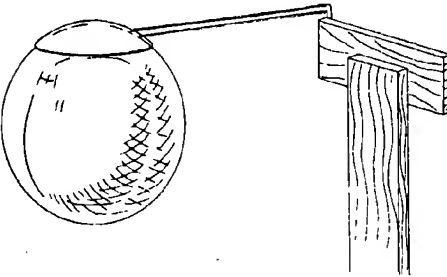
आता मी एक फुगा फुगवून रिगच्या खाली लटकवला त्या फुग्याला मी एक तारेची रिग लटकावतो ती त्या फुग्याला ओढून त्याचा आकार बिघडवून टाकते संपूर्ण गोलकातील दाबाच्या मानाने ह्या आकारात कमी दाब आहे, पण बाहेरच्या मानाने आतील दाब अधिक आहे, हे आपण टोपीसारख्या आकाराकडे बघून सांगू शकतो ही वक्रता आपण पूर्वी पाहिलेल्या वक्र आकाराचाच एक भाग



आकृती ५७

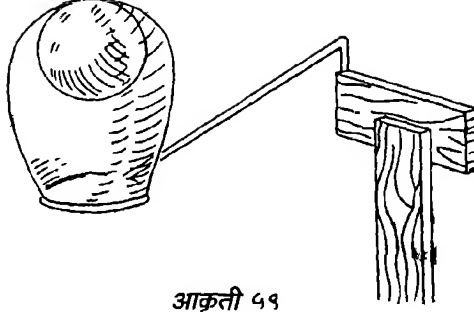
आहे ते आकार म्हणजे आकृती क्रमाक ३१ मधील 'सी' किंवा 'इ' आता वक्रतेचा विचार न करता मी एक नळी फुग्यात घुसवतो आणि त्याच्या आत एक फुगा फुगवतो आणि सोडतो हा फुगा हलकेच खाली सरकतो पण तो तळापर्यंत पोहोचत नाही पण जरा वर जी वर्तुळाकार रेषा आहे तिथपर्यंत तो फुगा पोहोचतो (आकृती ५६) दोन्ही फुग्याच्या खाली जे जड थेब आले आहेत ते मी एका नळीने काढून टाकतो म्हणजे फुगे पुन्हा गरगरीत आणि सुबक होतील आता मी खालची रिग खाली ओढतो म्हणजे आतला फुगा आवळला जाऊन अड्यासारखा झाला, बघा (आकृती

५७) किंवा मी ती रिग गोल गोल फिरवून अगदी काळजीपूर्वक ती रिग फुग्यापासून सोडवून घेतो लगेच दोन्ही फुगे कसे पूर्ण गोलाकृती झाले, पहा (आकृती ५८) मी बाहेरच्या फुग्यातली हवा काढून घेतो बघा, दोन्ही



आकृती ५८

फुग्यामधले अतर जवळजवळ दिसेनासे झाले आता बाहेरच्या फुग्यात हवा भरतो जितकी हवा भरली जाईल तितकी तुमच्या लक्षात एक गोष्ट येईल की हे फुगे एकमेकाना स्पर्शही करत नाहीत आतला फुगा बाहेरच्या फुग्याच्या



आकृती ५९

मध्यात गोल गोल
फिरतो आहे
बाहेरचा फुगा फोडला
की आतला फुगा
विशेष काहीच घडल
नसल्यासारखा
तरगत निघून जाईल

आता

दाखवणार आहे, तो

प्रयोग बराच वेगळा आहे त्याकरता थोडा हिरवा रंग लागणार आहे. त्याला फ्लुरोसिन किंवा युरानाइन म्हणतात हा रंग एक वेगळ्या पात्रात ठेवलेल्या साबणाच्या पाण्यात विरघळवला पाहिजे आपण साध्या रंगहीन साबणाच्या पाण्याने बाहेरचा फुगा फुगवू आणि आतला करू या रंगीत पाण्याचा साध्या प्रकाशात दोन फुग्यात फरक दिसणार नाही त्यांच्यावर ऊन किंवा विजेच्या दिव्याचा झोत टाकला की आतला फुगा झगमगीत हिरवा आणि बाहेरचा रंगहीन पारदर्शक दिसेल हे फुगे एकमेकात अजिबात मिसळणार नाहीत दिसताना आतला फुगा बाहेरच्याला टेकून राहिल्यासारखा दिसला तरी खर तर त्या दोन्हीमध्ये हवेचा अगदी पातळ थर आहे

कोलर्गॅस^{३८} हा हवेपेक्षा हलका असतो हा जर फुग्यात भरला तर फुगा लगेचच वर जायला लागेल आणि थेट आढ्याला जाऊन भिडेल ह्या गॅसने मी एका रिगवर फुगा फुगवतो तो रिगच्या वर ओढला जाईल मी त्यात आणखी हवा भरत राहतो तो कसे आकार घेतो, ते नीट बघा आकृती क्र ५९ मध्ये (आतला दुसरा गोलक क्षणभर नजरेआड करून) बघा लटकणाऱ्या थेबाचे जे आकार होते तेच आकार ह्या फुग्याने घेतले आहेत, फक्त इथे खाली डोक, वर पाय अशी परिस्थिती आहे आता त्या फुग्यात हवा इतकी झाली की त्याच्या कातडीला ताण सहन होईनासा झाला आणि फुगा फुटला - अगदी पाण्याचा थेब नळीपासून सुटून जातो, तसाच

आता मी साध्या हवेने आणखी एक फुगा रिगवर फुगवतो त्याच्या आत हवा आणि कोलर्गॅसच्या मिश्रणाने दुसरा एक फुगा फुगवतो आतला फुगा

बाहेरच्या फुग्याच्या वरच्या बाजूलाच जाणार, होय ना ?

(आकृती ५९) बाहेरच्या

फुग्यातही थोडा गॅस भरतो तो जेव्हा वजनाने आतल्या

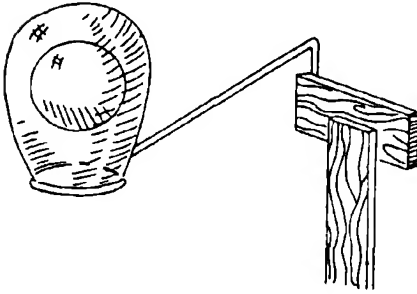
फुग्याइतका होईल तेव्हा आतला फुगा वरच्या टोकाला न राहता

मध्यात तरगू लागेल

(आकृती ६०) पाणी आणि

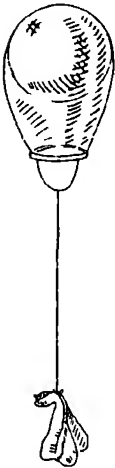
अल्कोहोलच्या मध्ये तेलाचा थेंब

मध्यात होता, तसाच आतला



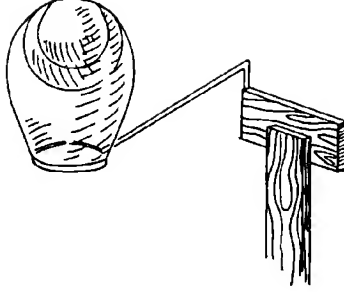
आकृती ६०

फुगा हवेपेक्षा खरोखरच हलका आहे हे बघायच असेल तर बाहेरचा फुगा फोडतो बघा, आतला फुगा झटकन वर जाऊन आढ्याला भिडला



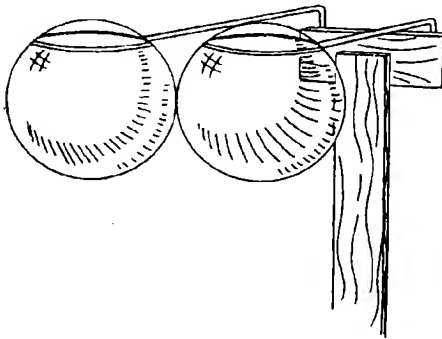
आकृती ६१

आतापर्यंत ज्या रिगावर फुगे घेतले, त्या जड आणि एका जागी बसवलेल्या होत्या आता मी एक तारेची हलकी रिग घेतो व तिच्यावर फुगा फुगवतो ह्या फुग्यात हवा भरली आहे त्याच्या आत मी एक गॅसचा फुगा फुगवतो, साहजिकच तो बाहेरच्या फुग्याच्या वरच्या टोकाला जाऊन पोहोचला तो आणखीही वर जाण्याचा प्रयत्न करेल यावेळी बाहेरचा फुगा घट्ट बसवलेला नाही आणि त्याची रिग हलकी आहे त्यामुळे आतला फुगा त्याला वर उचलेल तो त्याला आढ्यापर्यंत नेऊ शकेल, पण त्याला दोरा बाधला आहे व तो दोरा एका कागदाच्या पुडीला गुडाळला आहे (आकृती क्र ६१) आता इथे आतला



आकृती ६.२

दुसरा फुगा फुगवतो त्या फुग्याच्या आत एक गॅस भरलेला तिसरा फुगा फुगवतो तो सोडल्यावर दुसऱ्या फुग्याच्या वरच्या बाजूला जाऊन थांबतो आता मी दुसऱ्या फुग्यात थोडा गॅस भरतो आणि पहिल्या फुग्यात (सर्वात बाहेरचा) आणखी हवा भरतो दुसऱ्या फुग्याची रिग सोडवून, काढून घेतो, म्हणजे आतले दोन्ही फुगे आता मोकळे होतील पण ते दोन्ही आपल्या



आकृती ६.३

फुगा वर जातो आहे तो बाहेरच्याला आपल्याबरोबर वर नेतो आहे, हे खरे, पण तरी लक्षात घेण्यासारखी गोष्ट म्हणजे ते दोन्ही एकमेकाना चिकटलेले नाहीत

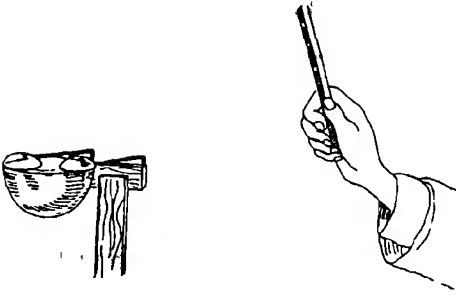
घट्ट बसवलेल्या रिगवर मी एक फुगा फुगवतो त्याच्या आत एक तार ढकलतो ह्या तारेच्या टोकाला एक रिग आहे आता ह्या आतल्या रिगवर हवेचा

पहिल्या फुग्याच्या आतच आहेत (आकृती ६.२)

तीनही फुग्याचे विविध चमकदार रंग एकमेकात प्रतिबिंबित होत आहेत तसेच प्रत्येक फुग्याचा आपला आपला वेगळा आकार ह्या सर्वामुळे जी प्रमाणबद्धता आणि सौंदर्य आले आहे ते

आम्हाला क्वचितच दुसरीकडे पहायला

मिळेल मी आता बाहेरच्या फुग्याला आणि रिंगला खऱ्या अर्थी जोडलेला असा चवथा फुगा फुगवतो, आणि त्या फुग्याला रिगपासून सुटून जायला मदत करतो म्हणजे पोटात दोन फुगे घेऊन तो पहिला फुगा उडून जाईल थेब आणि फुगे हे एकाच पद्धतीने वागतात, हे आपण पाहिले विजेचा जो परिणाम थेबावर झाला तसाच इथे होईल का बघू या



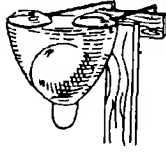
आकृती ६४

विद्युतभारित सीलिंग वॅक्सचा पाण्याच्या फवाऱ्यावर झालेला परिणाम आठवतो आहे ना ? फवाऱ्यातले थेब विखरून जाण्याऐवजी एकमेकात मिसळतात आता ह्या दोन रिगावर दोन फुगे आहेत, ते एकमेकांना चिकटल्यासारखे दिसतात, पण खर तर ते एकमेकांना चिकटलेले नाहीत (आकृती ६३) मी सीलिंग वॅक्सची काडी बाहेर काढतो त्याबरोबर दोन्ही फुगे एकमेकात मिसळले आणि त्याचा एकच फुगा झाला (आकृती ६४) म्हणजे काय, की दोन साबणाचे

फुगे आपल्याला विद्युतभार ओळखायला मदत करतात विद्युतभार अगदी किचितसा असला तरी त्याचा फुग्यावर परिणाम होतो पाण्याच्या फवाऱ्यावर झाला होता तसा

विजेच्या दोन गुणांपैकी एक सिद्ध करण्याकरता आपण फुग्याच्या जोडीचा उपयोग करू शकतो विद्युतवाहका^{३९}च्या आत बाहेरच्या विजेचा काही केल्या परिणाम जाणवत नाही ६५ क्रमांकाच्या आकृतीत दाखवल्याप्रमाणे दोन फुगे घेऊन सीलिंग वॅक्सची विद्युतभारित काडी जवळ न्या त्यामुळे बाहेरचा फुगा विद्युतभारित झाला पण आतल्या फुग्यावर काही परिणाम होत नाही सीलिंग वॅक्सची काडी फुग्याच्या इतकी जवळ नेली की फुगा एका बाजूला ओढला गेला आहे आतला फुगा त्याच्या इतका जवळ आहे की

त्यामधले अतर आपल्याला दिसतही नाही पण तरी ते दोन फुगे वेगळेच राहतात फुग्याच्या आत एक लक्षाश इच जरी विजेचा परिणाम पोहोचला असता ना तरी दोन्ही फुगे मिळून गेले असते व त्याचा एक फुगा होऊन गेला असता तुम्हाला आणखी एक शेवटचा प्रयोग दाखवायलाच पाहिजे त्यात आधीच्या दोन प्रयोगांचा मिश्रण आहे आतला आणि बाहेरचा फुगा याच्यातला फरक या प्रयोगामुळे आपल्याला पाहायला मिळेल एकात



† आकृती ६५



एक असलेले दोन फुगे (आकृती क्र ५६)

आहेत, त्यांना टेकून आणखी एक हवेचा फुगा फुगवू ज्या क्षणी मी सीलिंग वॅक्सची काडी काढतो त्या क्षणी बाहेरचे फुगे एकत्र होतात आणि आतला तसाच राहतो ती जड

रिग घसरते आणि एकत्र झालेल्या ह्या बाहेरच्या फुग्याच्या तळाशी जाऊन बसते (आकृती ६५)

ही व्याख्याने सपताना मी तुम्हाला एक प्रश्न विचारणार आहे आपण फुग्याशी खेळताना आपल्याला विस्मय वाटतो, कौतुक वाटते माझ्या व्याख्यानामुळे तो विस्मय, ते कौतुक नष्ट झाले आहे का ? की तुम्हाला त्याच्याबद्दल माहिती झाल्यामुळे तो विस्मय व ते कौतुक अधिक वाढले आहे ? थेब, फुगे असे रोज पाहण्यात येणारे पदार्थ काही तत्त्वावर चालतात, त्यामुळे त्या साध्याशा पदार्थांनी जगातल्या थोर शास्त्रज्ञाचे लक्ष वेधून घेतले आहे न्यूटनच्या^{४०} काळापासून आजतागायत शास्त्रज्ञाचे लक्ष वेधून घेणाऱ्या या गोष्टी खचितच क्षुल्लक असणार नाहीत, हे तुम्हाला पटले असेल आपल्यासारख्या साध्या लोकानीही त्यांना फालतू म्हणून सोडून न देता त्याच्याकडे पुरेसे लक्ष द्यायला पाहिजे



प्रयोगांकरता सूचना

मी दिलेल्या व्याख्यानांच्या वेळी मी जे प्रयोग वर्णन केले आहेत ते कुणाला करून बघायचे असतील तर पुढे दिलेल्या सूचना त्यांना उपयोगी पडतील अशी मला आशा आहे

रबराच्या पृष्ठभागावर थेब

हा प्रयोग माझ्या पहिल्या व्याख्यानात करून दाखवला आहे (आकृती ३) ज्या रबराचे फुगे बनवतात, त्या जाडीच्या रबराचा एक रुमालासारखा तुकडा घ्या एक धातूची किंवा लाकडाची १८ इंच व्यासाची रिग घ्या त्या रिगवर रबर ताणून बसवा रिगच्या कडेने ते तारेने बाधा रिगच्या कडेवर जर खाच असेल तर तार रबराला नीट पकडून ठेवेल रिगचा व्यास मात्र १८ इंच असला पाहिजे त्याहून कमी असला तर हा प्रयोग यशस्वी होणार नाही रॉयल इन्स्टिट्यूटमध्ये हा प्रयोग सर् डब्ल्यू थॉमसन यांनी करून दाखवला होता

उडी मारणारी तारेच्या जाळीची चौकट

हा प्रयोग माझ्या पहिल्या व्याख्यानात केलेला आहे (आकृती ४) ह्या प्रयोगासाठी पातळ काचेचा २ इंच व्यासाचा एक गोलक लागतो खिसमसचे झाड शृंगारण्यासाठी चादीचे पाणी चढवलेले गोलक असतात तसा गोलक चालेल प्रयोगशाळेत लागणारा पिपेटचा^{४१} बल्ब चालेल मी तसलाच एक बल्ब घेतला होता ह्या बल्बच्या दोन्ही चिचोळ्या बाजू उघड्या आहेत, त्यातून एक बारीक तार (साधारण १/२० इंच जाडीची) घाला तार घातल्यानंतर त्यावर वितळलेले मेण ओतून ती भोके बद करा, म्हणजे बल्बमध्ये पाणी शिरणार नाही बल्बच्या वरच्या बाजूच्या तारेच्या (एक ते

दोन इचावर) बारीक तारेच्या जाळीची चौकट जोडून टाका ती तुम्ही सॉल्डर करा पण ते जमणार नसेल तर ती तारेला बाधून तिथे वितळलेले मेण ओतून पक्की करा बल्बच्या खालच्या बाजूतून आलेल्या तारेच्या ठोकाला एक जस्ताचा तुकडा बाधा किंवा लटकवा ही सर्व रचना पाण्यातून बाहेर येऊ शकणार नाही इतक्या बेताच्या वजनाचा हा तुकडा असावा त्याकरता तो हळूहळू खरवडून पाहिजे तितकाच जड ठेवा (इथे दिलेल्या वस्तूची मापे-वजने ही फार महत्त्वाची नाहीत)

पॅराफिन्ड चाळणी

ताब्याच्या तारेची जाळी घ्या १ इचात साधारण २० तारा असतील इतकी जाळी बारीक असावी ह्या जाळीतून ८ इंच व्यासाचा वर्तुळाकार तुकडा कापून घ्या जाळीपेक्षा २ इंच कमी व्यास असलेल्या लाकडाच्या गोल ठोकळ्यावर ती पसरा ठोकळ्याच्या सर्व बाजूनी जाळीची सारखी किनार राहिल असे बघा ती किनार हळूहळू काळजीपूर्वक खाली वळवत जा वरच्या बाजूला जाळी सपाट राहू द्या तारा आपण देऊ ते आकार घेऊ शकतात, त्यामुळे हे करायला सोपे जाते आता वाकवलेल्या कडेवरून एक जाड तार गुडाळा म्हणजे चाळणीची बाजू कडक होईल खर तर हे सॉल्डर करायला हव पण तार काळजीपूर्वक गुडाळली, तरी पुरेसे होते (आकृती क्र ५)

पॅराफिन मेण किंवा चागल्या दर्जाच्या एक-दोन मेणबत्त्या एका उथळ बशीत ठेवा हे वितळवायचे आहे पण ते गॅसवर न धरता हॉट प्लेटवर धरा मेण वितळून स्वच्छ पाण्यासारखे दिसू लागले की, चाळणी त्यात बुडवा व लगेच म्हणजे मेण गरम असेपर्यंतच बाहेर काढा टेबलावर ती एक-दोनदा आपटा म्हणजे जाळीच्या भोकातले मेण खाली पडेल गार होईपर्यंत ती चाळणी उपडी ठेवा नंतरही तिच्यावरचे मेण खरवडून जाणार नाही अशी खबरदारी घ्या ह्या चाळणीत पाणी भरायला किंवा ती पाण्यात सोडायला काहीच अडचण येणार नाही

जिथे पसारा व कचरा केलेला चालेल अशाच ठिकाणी ही चाळणी बनवलेली बरी

बारीक नळ्या आणि केशाकर्षण

केमिस्टकडून क्विल-ग्लास नळी आणा ही काचेची नळी पेनएवढी जाड असते ही फार लांब असेल तर तिचा एक तुकडा पाडा जिथे तुकडा पाडायचा तिथे त्रिधारी फाइलने खाच पाडून घ्या म्हणजे ती सहज तुटेल आता ह्या नळीचीच आपल्याला बारीक नळी बनवायची आहे नळीची दोन टोके हातात धरा आणि मधला भाग साध्या गॅसच्या ज्योतीवर धरा नळी सतत गोल फिरवत रहा ती इतकी गरम होईल की हातात धरणे मुष्कील होईल अशा वेळी आपण तिला कशीही वाकवू शकतो पण ती बारीक करायची आहे म्हणून आणखी काही वेळ ती ज्योतीवर धरायला पाहिजे जेव्हा तिच्यावरची काजळी फुटून निघू लागेल त्या क्षणी नळी ज्योतीवरून बाजूला काढा हातात धरलेली टोके दूर ओढत जा आता नळी लांब होईल त्याबरोबरच ती बारीकही होईल गॅसची उष्णता आणि ओढण्याची पद्धत यावर ही नळी सुबक किवा ओबडधोबड होणार हे अवलंबून राहील माझ्या सूचनापेक्षा हे अनुभवानेच करता येईल आता नळी गार होईपर्यंत साफ करायची घाई करू नका आणि ती गार करण्याकरता त्यावर फुकर मारण्याचा किवा ती पाण्याने ओली करण्याचा प्रयत्न करू नका जिथे गॅस मिळत नाही तिथे मोठ्या स्पिरिटच्या दिव्याची ज्योतही चालेल, पण ती गॅसच्या ज्योतीइतकी प्रभावी होत नाही (आकृती ८)

नळी जितकी बारीक तितके पाणी वर चढलेले पहायला मिळेल तसेच पाणी रगीत करण्याकरता तुमच्या रगपेटीतले रग वापरू नका, कारण हे रग पाण्यात विरघळत नाहीत आणि कदाचित ते नळी रगवतील जे रग पाण्यात विरघळतात (जशी साखर विरघळते ना, तसे), तसला एखादा रग घ्या अनिलाइन डाय^{४२} इथे उपयोगी ठरेल त्याला 'विरघळणारी नीळ' असेही म्हणतात तयार झालेल्या रगात थोडे व्हिनिगर^{४३} घातले तर रग अधिक वेळ राहातो

दोन तावदानांच्या काचांमधले केशाकर्षण

३ किंवा ५ इंच चौरस अशा दोन सपाट काचा इथे लागतील त्या स्वच्छ आणि चागल्या ओल्या असायला पाहिजेत काचा स्वच्छ करायला साबण आणि गरम पाणी पुरेसे होईल (आकृती ९)

मदिरेचे अश्रू †

पोर्ट नावाच्या मदिरेने ग्लास अर्धा भरलेला असतो तेव्हा हे छान दिसतात (आकृती १४) पण ही मदिरा नसेल तर दुसरं एक मिश्रणही वापरता येत ह्यात थोडे रोझनिलाइन^{४४} (लाल अनिलाइन रंग) घातलेले स्पिरिट ऑफ वाईन १ भाग आणि दोन किंवा तीन भाग पाणी, असे ते मिश्रण असते मोहरीच्या एका दाण्याइतका रगाचा कण मोठ्या ग्लासाला पुरेसा होतो ग्लासच्या कडा मात्र स्पिरिटने ओल्या करून घेतलेल्या पाहिजेत

कॅट बॉक्स

शाळेत जाणाऱ्या प्रत्येक मुलाला हे डबे बनवायला येतात कागदामध्ये चिरा पाडून हे डबे बनवत नाहीत तर फक्त घड्या घालून बनवायचे आणि मग फुकर मारून फुगवायचे असतात (आकृती १५)

द्रवाचे मणी

सोने वितळवण्याऐवजी आपण इतर द्रवाचे मणी बनवून पाहू शकतो टेबलावर लायसोपोडियमचा जाडा थर पसरून त्यावर पाण्याचे थेंब टाकले की द्रवाचे मणी होतील तसेच टेबलाच्या गुळगुळीत पृष्ठभागावर पारा टाकला तरी मणी मिळतील आणि आपल्याला लहान-मोठ्या मण्याच्या आकारातील फरक व्यवस्थित दिसेल भिंगातून बघितल्यास हा फरक अधिक स्पष्टपणे बघता येईल पारा वापरणार असलात तर मात्र खूप काळजी घ्यायला लागते त्याचा एक कणही सोन्या-चादीसारख्या धातूची नाणी, दागिने, बशी याच्यावर पडता कामा नये तसे झाल्यास नुकसान होऊ शकते (आकृती १६)

प्लेटोचा प्रयोग

हा प्रयोग उत्तम रीतीने करायचा असेल तर खूप कष्ट आणि काळजी घ्यावी लागते. काही वेळपर्यंत हा प्रयोग सहज यशस्वी होतो. एका स्वच्छ बाटलीत एक मोठा चमचा भरून वनस्पतिजन्य तेल घाला. त्यावर नऊ भाग (मापी) स्पिरिट ऑफ वाइन (हे मिथिलेटेड स्पिरिट चालणार नाही) आणि सात भाग पाणी असे मिश्रण ओता. बाटली चागली हालवा आणि दिवसभर तशीच राहू द्या. म्हणजे तेल आपणहून स्थिर होईल. स्पिरिट आणि पाण्याचे असेच आणखी मिश्रण एका ग्लासात वरपर्यंत भरा. काचेची एक नळी घेऊन ग्लासच्या अर्ध्यापर्यंत बुडवा आणि त्यातून अलगदपणे थोडस पाणी घाला. ह्यामुळे काय होईल ? मिश्रणाचा खालचा भाग जड होईल. आता बाटलीतल्या तेलात एक नळी बुडवा. नळीच वरच भोक बोटाने बंद करा, म्हणजे नळीत थेबभर तेल येईल. हा थेब अगदी काळजीपूर्वक ग्लासात टाका. तो जर खाली पोहोचला तर ग्लासातल्या खालच्या बाजूच्या मिश्रणात आणखी पाणी हवे आहे असा अर्थ होतो. तेलाचा थेब जर ग्लासातल्या मिश्रणात बुडलाच नसेल तर मिश्रणाच्या वरच्या भागात आणखी थोड स्पिरिट हव असा अर्थ होतो. हे सारखे करता-करता शेवटी तेलाचा थेब मिश्रणाच्या मध्यात तरगू लागेल. तो तरगू लागला की मग त्यात आणखी तेल घालायला हरकत नाही. पण ते ग्लासच्या कडेला लागू देऊ नका. खालचे मिश्रण तेलाहून किंचितस जड आणि वरच मिश्रण तेलाहून किंचित हलक असेल तर तेलाचा थेब चागला हाफपेनी^{४५} इतका मोठा होईल आणि तो पुष्कळसा पूर्ण गोलकाकार होईल. काचेतून पाहिला तर हा पूर्ण गोल दिसणार नाही. कारण काचेमुळे तो बाजूनी मोठा दिसतो आणि खालून वरून मात्र तसाच दिसतो. पाण्यात टाकलेले नाणेही वरून बघितले तर तसेच दिसते. थेबाचा खरा आकार दिसायला हवा असेल तर आपले भांडे गोलकाकार हवे किंवा त्याची एक बाजू सपाट असली पाहिजे.

चकतीवर तेल ठेवून ती फिरवली की तेलाची रिंग तयार होऊन बाजूला होते. हे करण थोड जिकिरीच आहे (आकृती १७) पण श्रीपेनीच्या^{४६}

विज्ञान-लेखनातील श्रेष्ठ पुस्तक

सी. व्ही. बॉइस यांचे 'साबणाचे फुगे कसे बनतात' हे विज्ञान-लेखनातील एक श्रेष्ठ पुस्तक आहे ते तीन व्याख्यानाचे एकत्रीकरण आहे. ३० डिसेंबर १८८९ आणि १ व ३ जानेवारी १८९० या दिवशी लंडन इन्स्टिट्यूट येथे तरुण मुलाकरता त्यांनी ही व्याख्याने दिली होती.

वेगवेगळ्या आकाराचे छोटे मोठे साबणाचे फुगे कसे बनवता येतील हे दाखवून देत असताना बॉइस विज्ञानातील कितीतरी प्रश्नांना हात घालतात आपला मुद्दा पटवून देण्याकरता ते लहान मुलाच्या गीतापासून ते अगदी बायबलपर्यंत सर्व साहित्यातले दाखले देतात. एवढे विविध दाखले देत असले तरी त्याचा एक निश्चित उद्देश होता - माणूस आणि त्याचा सभोवताल याच्या अभ्यासात विज्ञानाचे स्थान काय हे स्पष्ट करणे जे विज्ञान शिकले नाहीत अशासकट सर्व वाचकांना हे पुस्तक प्रेरक ठरेल यात शका नाही.



विज्ञान प्रसार

मराठी आवृत्तीची निर्मिती व वितरण **उन्मेष प्रकाशन**

‘सी’ विंग, चद्रनील अपार्टमेंट, विठ्ठलवाडी रोड, पुणे ४११०३०

कव्हर छपाई ‘विनायक आर्ट्स’